2021

Dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo

Pièce 17

Annexes – Documents complémentaires pour la bonne information du public



ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Mise à jour du dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo

Suite aux recommandations émises dans le cadre du processus d'évaluation environnementale et notamment suite à l'avis de l'Autorité environnementale (Ae), des mises à jour ont été apportées par l'Andra dans certaines pièces du dossier (déposé pour instruction le 3 août 2020[1]) avant son passage en enquête publique.

Pour assurer la clarté de l'information du public, l'Andra assure la traçabilité de ces mises à jour.

Toutes les adaptations (modifications ou ajouts) se matérialisent par un surlignage gris dans le corps du texte, les corrections mineures de forme et de mise en cohérence ne sont pas matérialisées.

[1] Pour information, le dossier soumis à instruction a été rendu public sur le site internet de l'Andra - **https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference**

Sommaire

1. Introduction 5
1.1 Objet de la pièce 6
2. Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo 7
3. Étude préalable agricole du projet global Cigéo 215
Références bibliographiques 359

1

Introduction

1.1 Objet de la pièce 6

1.1 Objet de la pièce

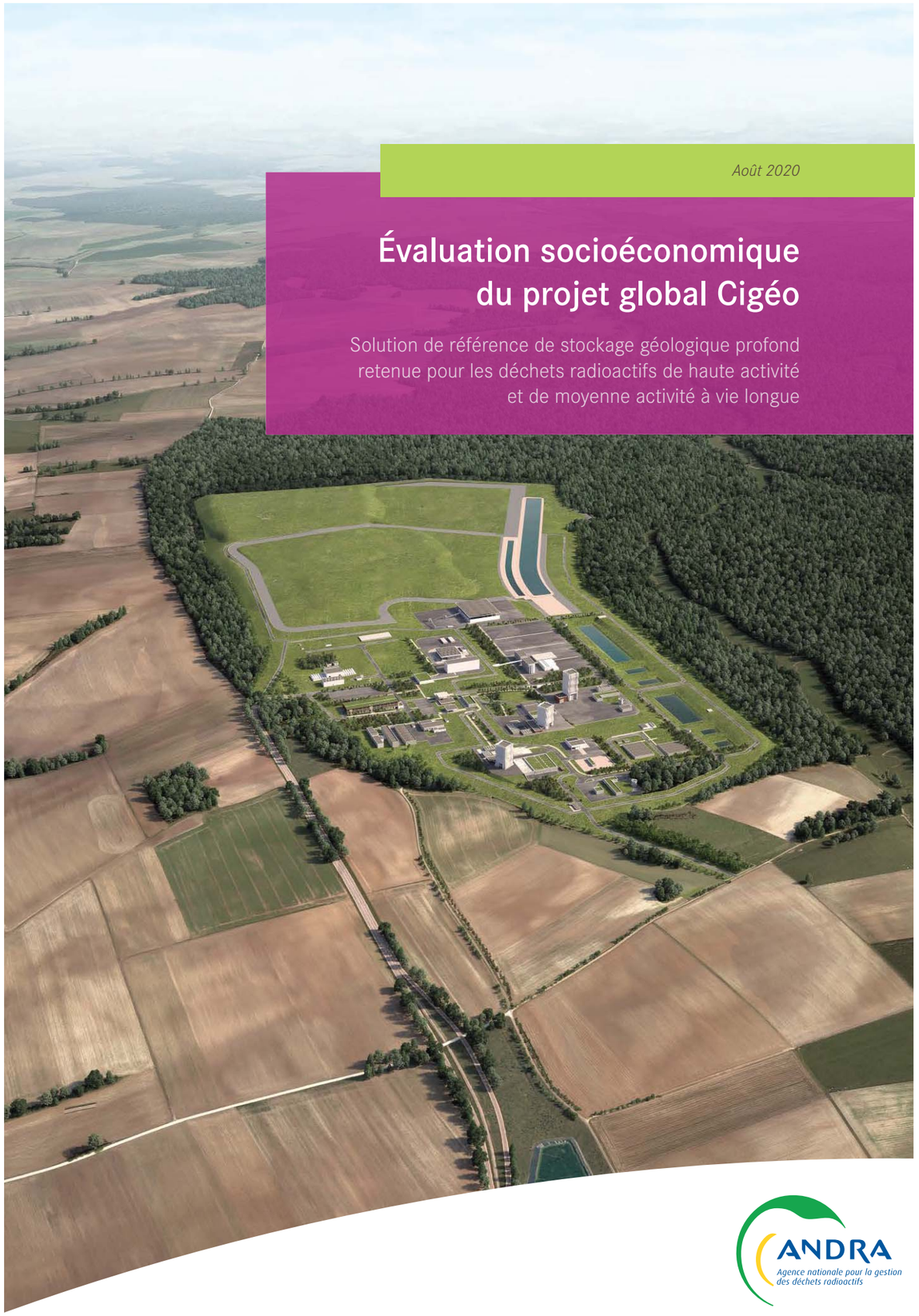
La présente pièce, intitulée « Annexes - Documents complémentaires pour la bonne information du public », correspond à la pièce 17 du présent dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo dont l'Andra est le maître d'ouvrage.

Elle a pour objet d'informer le public sur les deux dossiers qui ont été instruits en parallèle de l'instruction du présent dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo et ayant fait l'objet d'avis réglementaires distincts mis à disposition du public au sein de la pièce 8 « Avis émis sur le projet de centre de stockage Cigéo » :

- **l'évaluation socioéconomique du projet global Cigéo** – Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs et haute activité et de moyenne activité à vie longue :
  - ✓ l'évaluation est prévue par le décret n° 2013-1211 du 23 décembre 2013 (1) et a pour but d'objectiver les coûts et les bénéfices de toutes natures (économique, sociale, environnementale) d'un projet ;
  - ✓ l'instruction de cette évaluation par le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) a abouti à la publication de l'avis du SGPI et du rapport de contre-expertise (cf. Chapitre 3.1 de la pièce 8 « Avis émis sur le projet de centre de stockage Cigéo ») en date du 05/02/2021 (2) ;
  - ✓ pour information, la réponse de l'Andra sur l'avis rendu par le SGPI constitue le chapitre 3.1 de la pièce 8 « Avis émis sur le projet de centre de stockage Cigéo » ;
- **l'étude préalable agricole du projet global Cigéo** :
  - ✓ l'étude répond aux dispositions des articles L. 112-1-3 et D. 112-1-18 à 22 du code rural et de la pêche maritime, elle présente le projet et les caractéristiques du territoire d'accueil, puis les effets économiques associés sur l'activité agricole collective ;
  - ✓ l'instruction de cette étude a abouti à la publication des avis des commissions départementales de la préservation des espaces naturels agricoles et forestiers (CDPENAF) de la Meuse (3) et de la Haute-Marne (4) – chapitre 5.1 de la pièce 8 « Avis émis sur le projet de centre de stockage Cigéo » et de l'avis des Préfets de la Meuse et de la Haute-Marne sur l'étude préalable agricole (5, 6) – chapitre 5.2 de la pièce 8 « Avis émis sur le projet de centre de stockage Cigéo ».

2

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo



Août 2020

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo

Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Résumé non technique

Issus du secteur électronucléaire, de la recherche, de la défense, d'industries non-électronucléaires et du médical, les déchets radioactifs se distinguent en fonction de l'intensité et de la durée de leur activité.

Les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) ne représentent qu'environ 3 % des déchets radioactifs en volume, mais 99,8 % de la radioactivité des déchets radioactifs présents sur le territoire français. La gestion de ces déchets repose actuellement sur des solutions temporaires d'entreposage, qui bien qu'opérationnelles et sûres à l'échelle de quelques décennies, ne sont pas compatibles avec la durée de vie des déchets considérés, qui peut aller jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années. L'article L. 542-1 du code de l'environnement (1) indique que « *La recherche et la mise en œuvre des moyens nécessaires à la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs sont entreprises afin de prévenir ou de limiter les charges qui seront supportées par les générations futures*. » Ces déchets radioactifs sont donc en attente de leur mise en sécurité définitive, ne nécessitant plus l'intervention de l'homme.

Le centre de stockage Cigéo, fruit de plusieurs programmes de recherche et développement et d'un long processus législatif, est destiné à répondre à cet enjeu. *« Le stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde consiste à stocker des déchets radioactifs dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité*[1]*. Les caractéristiques de la couche géologique visent à confiner les substances radioactives contenues dans ces déchets. Une telle installation de stockage […] doit être conçue de telle sorte que la sûreté à long terme soit assurée de manière passive, c'est-à-dire sans dépendre d'actions humaines (comme des activités de surveillance ou de maintenance) […]. Enfin, la profondeur des ouvrages de stockage doit être telle qu'ils ne puissent être affectés de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, changements climatiques, séismes…) ou par des activités humaines. »* (3).

La construction du centre de stockage Cigéo, sous réserve de l'obtention d'autorisation de création, est prévue dans une couche d'argile située à environ 500 mètres de profondeur, à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne. Après une phase industrielle pilote, suivie de la mise en stockage progressive de l'ensemble des déchets MA-VL et HA produits et à produire par les installations nucléaires existantes, le centre de stockage Cigéo pourra être fermé : la couche géologique prendra alors le relais des actions de surveillance active, jusqu'ici prises en charge par la société, pour assurer le confinement des radionucléides et la protection de l'homme et de l'environnement.

L'objet du présent rapport est de procéder à l'évaluation socioéconomique du projet global Cigéo, solution de référence de stockage géologique profond pour la gestion à long terme des déchets radioactifs HA et MA-VL, retenue par la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4).

L'évaluation socioéconomique, prévue par le décret n° 2013-1211 du 23 décembre 2013 (5), a pour but d'objectiver les coûts et les bénéfices de toutes natures (économique, sociale, environnementale) d'un projet. Elle permet ainsi de déterminer si les avantages d'un projet sont à la hauteur des coûts afférents. En l'espèce, le coût du centre de stockage Cigéo a été établi à 25 milliards d'euros (arrêté du 15 janvier 2016 relatif au coût objectif afférent à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (6).

Une telle évaluation se distingue d'une évaluation financière ou budgétaire, dans le sens où, d'une part, elle n'est pas limitée aux seuls flux financiers (dépenses et recettes) ; et où, d'autre part, elle procède d'un raisonnement « différentiel » entre une option dite « de projet » et une ou plusieurs autres options.

[1] La réversibilité d'un stockage géologique est défini dans la loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 (2). Elle se caractérise par la progressivité du développement de l'installation, sa flexibilité, son adaptabilité et par le caractère récupérable des colis de déchets radioactifs, en phase de fonctionnement.

Pour ce faire, la présente évaluation socioéconomique compare les coûts et les avantages du centre de stockage Cigéo (dite option de projet 1) à ceux des différentes options imaginées pour les besoins de l'évaluation socioéconomique (options 2, 3 et 4).

Les options considérées dans cette évaluation ont permis de s'interroger sur l'approfondissement d'efforts de recherche et développement (R&D) débouchant sur des solutions prospectives de mise en sécurité définitive. De telles solutions ont été schématisées *via* des technologies de densification et/ou de forage profond. D'autres solutions prospectives pourraient être envisagées, mais celles de la densification et du forage profond présentent l'intérêt d'être suffisamment documentées dans la littérature académique et suffisamment mâtures pour imaginer qu'une période de R&D aurait des chances de déboucher sur une mise en œuvre de ces solutions technologiques dans des conditions de sûreté satisfaisantes. L'analyse a également conduit à envisager l'échec de la R&D en faveur de toute solution prospective de mise en sécurité définitive, le décalage de mise en œuvre du centre de stockage Cigéo, la perte du site de Meuse/Haute-Marne, ainsi que le maintien indéfini de l'intervention humaine dans la gestion des déchets radioactifs entreposés.

Des hypothèses structurantes ont été formulées pour chiffrer les coûts de ces options et estimer les risques qu'elles font, ou non, courir à la société. L'évaluation socioéconomique n'étant pas une étude d'ingénierie technico-économique, ces hypothèses ont été fondées sur la littérature académique, des rapports techniques et les documents officiels existants.

Par ailleurs, déployé très au-delà de notre siècle, le projet global Cigéo implique une évaluation sur un horizon temporel extraordinairement long, y compris par rapport aux projets d'infrastructures dont les durées les plus étendues sont de l'ordre de la centaine d'années (canaux, autoroutes, lignes ferroviaires, etc.).

L'inscription dans le temps lointain constitue à la fois une spécificité et une difficulté de cette évaluation socioéconomique. Pour prendre en compte ce temps exceptionnellement long, deux *scenarii* contrastés ont été modélisés, permettant de simuler le cadre macroéconomique dans lequel les différentes options pourraient voir le jour, et de considérer les incertitudes sur l'état de la société à très long terme :

- Un premier scenario (qualifié de « OK ») caractérise une société au sein de laquelle la croissance se poursuit, les institutions restent « en ordre de marche », les normes continuent d'évoluer vers plus de sûreté. Dans ce cadre, les exigences élevées de contrôle des déchets radioactifs sont préservées et les conséquences d'un accident restent maîtrisables.
- Un second scénario (qualifié de « KO ») représente une société plus chaotique : la croissance économique est érodée, puis nulle ; un cadre de gouvernance et des institutions progressivement fragilisés ne permettent plus, à terme, de préserver les normes de sécurité des installations. Cette dérive, dans un contexte où des conflits ne peuvent être exclus sur le temps long, augmente les risques d'accident.

L'inscription dans le temps lointain, en plus de la scénarisation sociétale contrastée qu'elle conduit à établir, a des incidences en matière d'actualisation des coûts et bénéfices. Dans les évaluations socioéconomiques traditionnelles intervenant dans un horizon plus proche et présentant des coûts et bénéfices généralement tangibles, le taux d'actualisation conventionnel (4,5 % jusqu'en 2070) amoindrit lourdement les effets du long terme, puisqu'en raison de la préférence pour le présent, de la croissance économique et du risque, un euro demain a une valeur plus faible qu'un euro aujourd'hui. Dans la présente évaluation socioéconomique, d'importantes variations de ce taux d'actualisation sont testées, pour refléter la préoccupation portée aux générations à venir, l'incertitude sur la croissance économique future, ainsi que les corrélations entre les flux du projet et le risque macroéconomique.

L'évaluation socioéconomique permet d'observer ainsi les résultats des différentes options dans chacun de ces *scenarii*, dont aucun n'est à exclure compte tenu des horizons temporels particulièrement lointains considérés dans cette évaluation et selon les taux d'actualisation envisagés.

Les résultats quantitatifs mis en évidence par cette évaluation socioéconomique peuvent être résumés comme suit :

- Les options modélisant la poursuite d'investissements dans de la R&D en vue de trouver une technologie prospective alternative au stockage géologique profond, combinés à la construction initiale et la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo, visant à s'assurer que cette technologie et le site afférent soient toujours disponibles au cas où la R&D ne serait pas fructueuse (options 2 et 3), ressortent sans ambiguïté comme moins favorables que l'option de projet 1, qui modélise la mise en place du centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi.
- Les résultats sont plus nuancés lorsque la comparaison concerne l'option de projet 1 (centre de stockage Cigéo) avec l'option 4, qui comporte des branches menant à de l'entreposage de longue durée renouvelé. L'option 4 modélise le choix d'un décideur public qui considère un report des premiers investissements du centre de stockage Cigéo et qui lance à la place des investissements de R&D pour tenter de trouver une solution prospective alternative de mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL. Le décideur public fait donc le choix de ne pas réaliser le projet du centre de stockage Cigéo dans l'immédiat, et accepte de faire face au double risque portant sur l'issue de la R&D et sur le maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne. Cette option est donc modélisée sous forme d'un arbre de décisions, envisageant les différentes éventualités, selon la réalisation ou non de ces risques. Il en résulte pour certaines branches une impossibilité de sortir d'une solution temporaire d'entreposage des déchets radioactifs, nécessitant de renouveler continuellement les sites actuels d'entreposage, alors même qu'une telle solution est supposée transitoire.

Les résultats de la comparaison de l'option de projet 1 avec l'option 4 sont décrits ci-après.

Dans le scénario KO, les résultats de l'évaluation socioéconomique sont constants, quelle que soit la valeur du taux d'actualisation retenue : le centre de stockage Cigéo est préférable. En effet, le centre de stockage Cigéo permet de se prémunir des conséquences économiques et sociales d'un hypothétique accident en entreposage (estimées dans cette étude de façon partielle et selon des hypothèses conservatrices[2]), accident susceptible de se produire dans une société où les normes de sûreté ne seraient plus respectées. C'est l'intérêt d'une solution de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, ne nécessitant plus d'actions de la part de l'homme et protégeant des menaces susceptibles d'émerger sur le très long terme.

Dans le scénario OK, les résultats de l'évaluation socioéconomique dépendent de la valeur prise par le taux d'actualisation. Dans ce scénario, le cadre macroéconomique est durablement favorable à la croissance et au respect des exigences de sûreté. En conséquence, les ordres de grandeur des conséquences probabilisées et actualisées d'un accident sont négligeables par rapport aux autres ordres de grandeur en jeu. Les comparaisons entre les options ne concernent donc que les coûts associés à leur mise en place.

Avec la borne basse du taux d'actualisation, la solution du centre de stockage Cigéo (option de projet 1) est toujours moins onéreuse que l'option 4, qui peut conduire à de l'entreposage de longue durée renouvelé. En effet, l'utilisation d'un taux d'actualisation bas, en limitant l'érosion des coûts et bénéfices survenant sur le temps long, est cohérente avec la vocation du centre de stockage Cigéo destiné à préserver les générations très lointaines des charges liées à la gestion active des déchets, nécessaires en cas d'entreposage.

En revanche, avec les taux d'actualisation intermédiaire et haut, c'est l'option 4 qui est en moyenne la plus favorable (avec un différentiel de coût actualisé relativement faible). A l'inverse du taux bas, ces taux d'actualisation plus élevés diminuent fortement la valeur des coûts et bénéfices futurs. Or la solution d'entreposage de longue durée renouvelé qui nécessite une surveillance active (comme c'est le cas actuellement) présente des coûts étalés dans le temps, alors que le centre de stockage Cigéo (option de projet 1) nécessite d'engager des dépenses élevées à brève échéance. L'utilisation de taux d'actualisation élevés souligne ainsi l'incidence forte de l'échéancier des dépenses.

Au total, dans quatre cas sur six, le modèle quantitatif d'évaluation socioéconomique met donc en évidence que l'option de projet 1 est préférable (dans le scénario KO avec les taux d'actualisation bas,

[2] A savoir, plutôt sous-évaluées.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résumé non technique

intermédiaire et haut et dans le scénario OK avec un taux d'actualisation bas) ; tandis que dans deux cas sur six, l'option 4 est celle qui présente le coût global actualisé le plus faible (dans le scénario OK avec les taux d'actualisation intermédiaire et haut).

Pourtant, l'option de projet 1 et l'option 4 ne sont pas équivalentes en termes de service rendu : l'option de projet 1 répond à une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, elle est à ce titre jugée sûre, ce qui n'est pas le cas de l'option 4 lorsqu'elle conduit à de l'entreposage de longue durée renouvelé *sine die*, qui la rend risquée.

Ces options ne sont donc pas pleinement comparables. Pour être pleinement comparables, il faudrait pouvoir tenir compte d'autres bénéfices liés à la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, tels que le fait de se libérer de la crainte des répercussions d'une alternance de scénario avec le KO, ou du transfert des charges financières et morales liées aux enjeux de la gestion des déchets radioactifs (surveillance des colis et des sites d'entreposage, renouvellement des installations, réparation des colis endommagés ou usés, etc.) à des générations futures qui n'auront pas profité directement des avantages du nucléaire. Le modèle quantitatif d'évaluation socioéconomique ne permet pas de tenir compte de ces bénéfices, appelés « bénéfices assurantiels ». Pourtant, il semble bien que le décideur public de 2006, qui a privilégié la réalisation du centre de stockage Cigéo, plutôt que de poursuivre continuellement l'entreposage des déchets radioactifs, ait intégré à son choix ces bénéfices assurantiels, puisqu'il n'a pas choisi la solution présentant le coût global actualisé le plus faible.

Dès lors, un raisonnement qualitatif a été mobilisé, permettant de déduire un bénéfice assurantiel pivot. Celui-ci a été défini comme la prime additionnelle pivot à mettre au crédit de l'option jugée sûre, telle que cette dernière soit plus favorable qu'une option jugée risquée. Si le décideur public actuel, estime que les sociétés du futur auront, comme hier et aujourd'hui, une préférence pour les solutions de mise en sécurité définitive, alors il convient d'affecter une prime assurantielle aux branches et options permettant la mise en sécurité définitive. Si la valeur que représente cette assurance est au moins égale au bénéfice assurantiel pivot, alors l'option de projet 1 est moins onéreuse que l'option 4, et ce quel que soit le taux d'actualisation retenu et pour toutes les probabilités de survenue du scénario KO.

Par exemple, s'il est estimé que le scénario KO a 10 % de chances de survenir, et même si le taux d'actualisation haut ou intermédiaire est retenu, un décideur public qui estimerait à au moins 7,9 milliards d'euros le bénéfice assurantiel de la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs (soit 118 euros par habitant en un seul versement) devrait, selon les résultats de la présente évaluation socioéconomique, faire le choix de lancer le centre de stockage Cigéo.

» EN D'AUTRES TERMES :

- Cela revient à considérer que dans une société persuadée de sa stabilité perpétuelle (c'est-à-dire persuadée de la permanence d'un scénario OK), et priorisant l'intérêt de ses contemporains (c'est-à-dire écartant un taux d'actualisation faible) et qui, enfin, arbitre principalement en fonction des coûts (c'est-à-dire qui n'attribue pas de valeur suffisante au bénéfice assurantiel d'une solution de mise en sécurité définitive), le choix rationnel, mis en évidence par le calcul socioéconomique, consiste à renouveler continuellement l'entreposage des déchets radioactifs, transformant *de facto* une solution aujourd'hui considérée comme temporaire en une solution de long terme.
- *A contrario*, dès lors que l'éventualité d'une défaillance sociétale à long terme est considérée (c'est-à-dire que la survenue d'un scénario KO est prise en compte), ou que l'intérêt porté aux générations futures est suffisamment élevé (c'est-à-dire qu'un taux d'actualisation bas est retenu), ou que, à défaut, une valeur suffisante est accordée au bénéfice assurantiel lié à la mise en sécurité définitive, alors l'option de projet 1 de réalisation du centre de stockage Cigéo constitue la solution préconisée par la présente évaluation socioéconomique.

Les directions prises par cette étude, tant sur la modélisation des différentes options, que sur les évolutions sociétales et les choix de taux d'actualisation, visent à répondre au but de l'évaluation socioéconomique d'objectiver le champ des possibles. Le décideur public peut alors se baser sur des éléments quantifiés pour finaliser une décision éclairée.

Soulignons que cette évaluation socioéconomique a représenté une première pour les acteurs du secteur nucléaire et un défi méthodologique pour les économistes : celui de la prise en compte de l'incertitude et du risque dans un temps très long.

Même si la sensibilité des nombreuses hypothèses a été testée tout au long du processus d'évaluation, elles sont ouvertes à la discussion de la contre-expertise, ainsi que les résultats qui en découlent.

Sommaire

Introduction 17

1. Présentation de la méthode d'évaluation socioéconomique 25

1.1 La démarche et le principe 26

1.2 Les particularités de l'analyse coûts-bénéfices 27

1.2.1 Des évaluations en différentiel 27

1.2.2 La monétarisation 27

1.3 Les indicateurs calculés 28

1.4 Les spécificités et limites de l'analyse coûts-bénéfices du projet global Cigéo 29

1.4.1 L'incertitude liée à l'estimation des coûts et bénéfices des solutions étudiées 29

1.4.2 L'incertitude liée à la durée de vie du projet 30

1.4.3 L'incertitude relative à l'état de la société (scénarisation) 31

1.4.4 L'incertitude relative à la valorisation à long terme (taux d'actualisation et prime de risque) 32

2. Contexte et stratégie nationale 35

2.1 L'origine de la production de déchets radioactifs 36

2.2 La gestion des déchets radioactifs : le contexte français 38

2.3 Le cas des déchets HA et MA-VL 41

2.4 Le choix du projet Cigéo, description et cheminement 44

2.5 La gestion des déchets HA et MA-VL à l'international : panorama 49

3. *Scenarii* de référence et paramétrage du modèle 53

3.1 Les quantités de déchets radioactifs 54

3.2 Deux possibles états du monde contrastés 56

3.2.1 Le scénario « OK » 56

3.2.2 Le scénario « KO » 59

3.2.3 *Scenarii* et prix relatifs 63

3.3 Valorisation du temps long et actualisation 68

3.3.1 Actualisation : définition et discussion 68

3.3.2 Choix des taux d'actualisation utilisés au sein des *scenarii* de référence de l'évaluation 70

3.4 Arbres de décision, aléas et critère de choix 84

3.4.1 Arbre de décision 84

3.4.2 Introduction d'aléa 85

3.4.3 Simulation Monte Carlo 86

3.4.4 Critère de choix 86

4. Options de projet comparées 89

4.1 Les modalités étudiées de gestion des déchets radioactifs 91

4.1.1 La séparation/transmutation 91

4.1.2 L'entreposage de longue durée 92

4.1.3 Le forage profond 93

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue

4.2 Les options retenues et non retenues en bref 95

4.3 Option de projet 1 : le centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra 96

4.4 Option 2 : réalisation du centre de stockage Cigéo et parallèlement, des efforts de recherche pour les déchets HA 98

4.5 Option 3 : réalisation du centre de stockage Cigéo et parallèlement, des efforts de recherche pour les déchets HA et MA-VL 100

4.6 Option 4 : efforts de recherche pour les déchets HA et MA-VL sans investissement dans le centre de stockage Cigéo 104

5. Quantification des coûts des différentes options 109

5.1 Coûts unitaires, prix relatifs, aléas et probabilité 110

5.1.1 Coût de mise en place de Cigéo 110

5.1.2 Coût de R&D 118

5.1.3 Coût de recherche de site 118

5.1.4 Coût d'une technologie prospective pour les déchets HA 126

5.1.5 Coût d'une technologie prospective pour les déchets MA-VL 130

5.1.6 Coût d'entreposage 134

5.1.7 Coût de transport 136

5.1.8 Coût des GIP 137

5.1.9 Coût de maintien des compétences 137

5.1.10 Coût de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne 138

5.1.11 Récapitulatif des coûts unitaires 139

5.1.12 Aléas sur les coûts unitaires 140

5.1.13 Probabilité de succès des recherches et de perte de site 141

5.2 Coût de l'option de projet 1 142

5.2.1 Coût brut de l'option de projet 1 142

5.2.2 Prise en compte du risque d'aléa sur les coûts de l'option de projet 1 145

5.2.3 Prise en compte des prix relatifs dans les coûts l'option de projet 1 145

5.2.4 Coût actualisé de l'option de projet 1 147

5.3 Coût de l'option 2 149

5.3.1 Coût brut de l'option 2 149

5.3.2 Prise en compte du risque d'aléa sur les coûts de l'option 2 et de l'évolution des prix relatifs 152

5.3.3 Coût actualisé de l'option 2 et espérance 153

5.3.4 Comparaison avec les coûts de l'option de projet 1 155

5.4 Coût de l'option 3 156

5.4.1 Coût brut de l'option 3 157

5.4.2 Prise en compte du risque d'aléa sur les coûts de l'option 3 et de l'évolution des prix relatifs 160

5.4.3 Coût actualisé de l'option 3 et espérance 160

5.4.4 Comparaison avec les coûts de l'option de projet 1 162

5.5 Coût de l'option 4 163

5.5.1 Coût brut de l'option 4 164

5.5.2 Coût actualisé de l'option 4 et espérance, après prise en compte du risque d'aléas sur les coûts, de l'évolution des prix 171

5.5.3 Comparaison avec les coûts de l'option de projet 1 177

5.6 Récapitulatif du coût des options 178

5.6.1 Scénario OK 178

5.6.2 Scénario KO 179

6. Quantification des bénéfices et risques évités par les différentes options 181

6.1 Propos préliminaires et présentation de la démarche de sûreté du centre de stockage Cigéo 184

6.1.1 Les risques en phase d'entreposage 185
6.1.2 Les risques associés au transport des déchets radioactifs 186
6.1.3 Les risques pris en compte pendant le fonctionnement du centre de stockage Cigéo 187
6.1.4 La sûreté après la fermeture du centre de stockage Cigéo 188

6.2 Hypothèses de sûreté des autres options 188

6.3 Analyse différentielle qualitative des périodes de risque, selon les scenarii 189

6.4 Définition des périmètres d'intervention et de l'accident à considérer 191

6.4.1 Périmètres extrapolables issus d'un bref rappel des accidents nucléaires 191
6.4.2 Caractérisation de l'accident imaginé dans l'évaluation socioéconomique : incendie suite à l'abandon d'une installation d'entreposage 194
6.4.3 Définition des périmètres d'intervention suite à un accident 195
6.4.4 Application de ces périmètres aux sites d'entreposage actuels 198

6.5 Coûts unitaires de l'incendie sur un site d'entreposage imaginé 201

6.5.1 Coût des réfugiés 201
6.5.2 Remédiation : les coûts de décontamination 201
6.5.3 Les coûts de prise en charge des déchets radioactifs générés par les mesures de décontamination 202
6.5.4 Coût d'image, coût économique direct et de ressenti 206
6.5.5 Coût sanitaire 207
6.5.6 Récapitulatif des coûts unitaires de l'incendie imaginé sur un site d'entreposage 208
6.5.7 Coût brut appliqué au cas de Marcoule 208
6.5.8 Coût brut appliqué au cas de La Hague 209
6.5.9 Aléa entourant les coûts unitaires de l'accident 209

6.6 Scenarii, probabilités et conséquences d'un incendie en entreposage 209

6.6.1 Intégration du risque d'accident dans le scénario KO 209
6.6.2 Comparaison avec l'option de projet 1 215

7. Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations 219

7.1 Recueil quantitatif des résultats de l'évaluation socioéconomique 224

7.1.1 Résultats dans le scénario OK 224
7.1.2 Résultats dans le scénario KO 228
7.1.3 Date de réalisation du centre de stockage Cigéo 231

7.2 Discussion et mise en perspective des résultats de l'évaluation socioéconomique 232

7.2.1 Discussion concernant les résultats quantitatifs 232
7.2.2 Le bénéfice assurantiel du centre de stockage Cigéo 233
7.2.3 Synthèse des résultats de l'évaluation socioéconomique et de sa mise en perspective 239

7.3 Observations finales et recommandations sur l'évaluation socioéconomique appliquée à la gestion des déchets radioactifs 241

Annexes 243

Annexe 1 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Allemagne 244

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Sommaire

1.1 Contexte national 244
1.1.1 Politique énergétique 244
1.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 244
1.2 Sources, types et quantités de déchets 245
1.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 245
1.3.1 Solutions de gestion actuelle 245
1.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 245
1.3.3 Alternatives envisagées 246
1.4 Modalités de financement 246

Annexe 2 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Belgique 247

2.1 Contexte national 247
2.1.1 Politique énergétique 247
2.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 247
2.2 Sources, types et quantités de déchets 248
2.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 248
2.3.1 Solutions de gestion actuelle 248
2.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité (types B et C) 249
2.3.3 Alternatives envisagées 249
2.4 Modalités de financement 250

Annexe 3 Gestion des déchets de type HA et MA-VL au Canada 251

3.1 Contexte national 251
3.1.1 Politique énergétique 251
3.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 251
3.2 Sources, types et quantités de déchets 252
3.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 252
3.3.1 Solutions de gestion actuelle 252
3.3.2 Projet de stockage des déchets de faible à moyenne activité à vie longue 253
3.3.3 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute activité 253
3.4 Modalités de financement 254

Annexe 4 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Chine 255

4.1 Contexte national 255
4.1.1 Politique énergétique 255
4.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 255
4.2 Sources, types et quantités de déchets 256
4.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 256
4.3.1 Solutions de gestion actuelle 256
4.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 257
4.3.3 Alternatives envisagées 257
4.4 Modalités de financement 258

Annexe 5 Gestion des déchets de type HA et MA-VL et en Espagne 259

5.1 Contexte national 259
5.1.1 Politique énergétique 259
5.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 259
5.2 Sources, types et quantités de déchets 260
5.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 260
5.3.1 Solutions de gestion actuelle 260

5.3.2 Solution de gestion temporaire envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 261
5.3.3 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 261
5.3.4 Alternatives envisagées 262
5.4 Modalités de financement 262
Annexe 6Gestion des déchets de type HA et MA-VL aux États-Unis d'Amérique 263
6.1 Contexte national 263
6.1.1 Politique énergétique 263
6.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 263
6.2 Sources et types de déchets 264
6.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 264
6.3.1 Solutions de gestion actuelle 264
6.3.2 Solution de gestion définitive envisagée 265
6.4 Modalités de financement 266
Annexe 7Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Finlande 267
7.1 Contexte national 267
7.1.1 Politique énergétique 267
7.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 267
7.2 Sources, types et quantités de déchets 267
7.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 268
7.3.1 Solutions de gestion actuelle 268
7.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 268
7.3.3 Alternatives envisagées 268
7.4 Modalités de financement 269
Annexe 8Gestion des déchets de type HA et MA-VL au Japon 270
8.1 Contexte national 270
8.1.1 Politique énergétique 270
8.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 270
8.2 Sources, types et quantités de déchets 271
8.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 272
8.3.1 Solutions de gestion actuelle 272
8.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute activité 272
8.4 Modalités de financement 273
Annexe 9Gestion des déchets de type HA et MA-VL aux Pays-Bas 274
9.1 Contexte national 274
9.1.1 Politique énergétique 274
9.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 274
9.2 Sources, types et quantités de déchets 274
9.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 275
9.3.1 Solutions de gestion actuelle 275
9.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets radioactifs 275
9.3.3 Alternatives envisagées 276
9.4 Modalités de financement 276
Annexe 10 Gestion des déchets de type HA et MA-VL au Royaume-Uni 277
10.1 Contexte national 277
10.1.1 Politique énergétique 277
10.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 277

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Sommaire

10.2 Sources, types et quantités de déchets 278
10.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 279
10.3.1 Solutions de gestion actuelle 279
10.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 279
10.3.3 Alternatives envisagées 279
10.4 Modalités de financement 279
Annexe 11 Gestion des déchets de type HA et MA-VL et en Russie 281
11.1 Contexte national 281
11.1.1 Politique énergétique 281
11.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 281
11.2 Sources, types et quantités de déchets 281
11.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 282
11.3.1 Solutions de gestion actuelle 282
11.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 282
11.3.3 Alternatives envisagées 283
11.4 Modalités de financement 283
Annexe 12 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Suède 284
12.1 Contexte national 284
12.1.1 Politique énergétique 284
12.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 284
12.2 Sources, types et quantités de déchets 284
12.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 285
12.3.1 Solutions de gestion actuelle 285
12.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité 285
12.3.3 Alternatives envisagées 286
12.4 Modalités de financement 286
Annexe 13 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Suisse 288
13.1 Contexte national 288
13.1.1 Politique énergétique 288
13.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs 288
13.2 Sources, types et quantités de déchets 289
13.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs 289
13.3.1 Solutions de gestion actuelle 290
13.3.2 Solution de gestion définitive envisagée 290
13.4 Modalités de financement 291
Annexe 14 Fondement théorique sur le taux d'actualisation 292
14.1 Cadre théorique et appliqué du taux sans risque 292
14.1.1 Formule de Ramsey et effet richesse 292
14.1.2 Taux de préférence pure pour le présent 293
14.1.3 Formule de Ramsey étendue 294
14.1.4 Prise en compte d'évènements extrêmes 294
14.1.5 Estimation du taux sans risque 295
14.2 Cadre théorique de la prime de risque 295
Annexe 15 Détails des coûts et représentations graphiques de l'option de projet 1 298
15.1 Hypothèses de l'option de projet 1 298
15.2 Coût de l'option de projet 1 avec prise en compte des prix relatifs 299
15.2.1 Approche déterministe, scénario OK 299
15.2.2 Approche déterministe, scénario KO 299

15.2.3 Approche probabiliste non actualisée, scénario OK 300
15.2.4 Approche probabiliste non actualisée, scénario KO 300
15.3 Coût actualisé de l'option de projet 1 301
15.3.1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK 301
15.3.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO 303

Annexe 16 Détail des coûts et représentation graphique de l'option 2 305

16.1 Hypothèses de l'option 2 305
16.2 Coûts unitaires de l'option 2 307
16.2.1 Coût de mise en place de Cigéo 307
16.2.2 Coût de transport 309
16.2.3 Coût d'entreposage 310
16.2.4 Coût de recherche de site 310
16.2.5 Coût de R&D 311
16.2.6 La recherche n'est alors jugée fructueuse que si la technologie prospective trouvée est conforme au niveau de sûreté français et si un site est trouvé pour la recevoir. Coût d'une technologie prospective 311
16.3 Coût de l'option 2 avec prise en compte des prix relatifs 313
16.4 Coût actualisé de l'option 2 315
16.4.1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK 315
16.4.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO 317

Annexe 17 Détail des coûts et représentation graphique de l'option 3 319

17.1 Hypothèses de l'option 3 319
17.2 Coûts unitaires de l'option 3 322
17.2.1 Coût de mise en place de Cigéo 322
17.2.2 Coût de transport 328
17.2.3 Coût d'entreposage 331
17.2.4 Coût de R&D 332
17.2.5 Coût de recherche de site 332
17.2.6 Coût de technologie prospective 332
17.3 Coût actualisé de l'option 3 335
17.3.1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK 335
17.3.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO 337

Annexe 18 Détail des coûts et représentation graphique de l'option 4 340

18.1 Hypothèses de l'option 4 340
18.2 Coûts unitaires de l'option 4 348
18.2.1 Coût de R&D 348
18.2.2 Coût de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne 348
18.2.3 Coût de maintien des compétences 349
18.2.4 Coût de recherche de site 349
18.2.5 Coût de mise en place de Cigéo 351
18.2.6 Coût de technologie prospective 356
18.2.7 Coût de transport 357
18.2.8 Coût d'entreposage 360
18.3 Coût actualisé de l'option 4 368
18.3.1 Probabilité d'occurrence des branches de l'option 4 369
18.3.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK 370
18.3.3 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident 372
18.3.4 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, avec prise en compte du risque d'accident 374
18.4 Prise en compte de la valeur d'option au sein de l'option 4 376
18.4.1 Construction du modèle et critère de décision sans valeur d'option 376
18.4.2 Construction du modèle et critère de décision avec valeur d'option 377
18.4.3 Résultats en scénario OK 379
18.4.4 Résultats en scénario KO 381

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Sommaire

Annexe 19 Détail des coûts et représentation graphique des variantes de l'option de projet 1 384

19.1 Coûts unitaires des variantes de l'option de projet 1 384
19.1.1 Coût de mise en place de Cigéo 384
19.1.2 Coût de GIP 384
19.1.3 Coût de transport 384
19.1.4 Coût de maintien du site 385
19.1.5 Coût de maintien des compétences 385
19.1.6 Coût d'entreposage 385
19.2 Coût brut des variantes de l'option de projet 1 385
19.3 Représentation graphique des variantes de l'option de projet 1 386

Annexe 20 Détail du calcul du bénéfice assurantiel 387

Tables des illustrations 389

Références bibliographiques 400

Introduction

Découverte par hasard en 1896 par Antoine-Henri Becquerel, la radioactivité désigne le phénomène physique par lequel des noyaux atomiques instables (radionucléides) se transforment en d'autres atomes, en émettant simultanément des particules et des rayonnements, c'est-à-dire de l'énergie. Après de nombreuses études sur les propriétés de ces rayonnements, Marie Curie invente le nom de « radioactivité » (issu du mot latin *radius*, qui signifie rayon).

Près de 40 ans plus tard, en 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie découvrent la radioactivité artificielle. C'est un tournant dans l'histoire de la physique nucléaire, qui marque le début d'importants programmes de recherche sur l'énergie nucléaire.

Une des premières applications du nucléaire est militaire, avec le développement pendant la seconde guerre mondiale de la bombe atomique utilisée en 1945 à Hiroshima et Nagasaki, puis ensuite en tant qu'élément central de la stratégie de dissuasion.

Ce n'est qu'après la seconde guerre mondiale que le nucléaire civil se développe, pour produire notamment de l'électricité (États-Unis d'Amérique, URSS). En France, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) est créé en 1945 ; le premier réacteur est mis en service en 1956 ; à partir des années 60, le nucléaire entre dans une phase industrielle, soutenu par un objectif de renforcement de l'indépendance énergétique dans le contexte de crises pétrolières. En 2018, 37 pays dans le monde exploitent 452 réacteurs nucléaires, produisant plus de 10 % de l'électricité mondiale (Agence internationale de l'énergie (7)). Dans l'Union européenne, 14 des 28 pays exploitent au moins une centrale. En 2018, plus de 25 % de l'électricité produite dans l'Union était d'origine nucléaire (Eurostat). En France enfin, environ 70 % de l'électricité est produite par le nucléaire, sur la base d'un parc constitué de 58 réacteurs nucléaires répartis sur 19 sites.

Mais le nucléaire ne sert pas uniquement à la production d'électricité. Le nucléaire est aujourd'hui aussi utilisé dans le domaine médical pour la réalisation de radiographies et le traitement thérapeutique de certaines maladies, dans le domaine agricole, pour la protection des cultures et la conservation des aliments, dans le domaine industriel pour le contrôle des soudures ; il est également largement utilisé dans les secteurs de la recherche et de la défense.

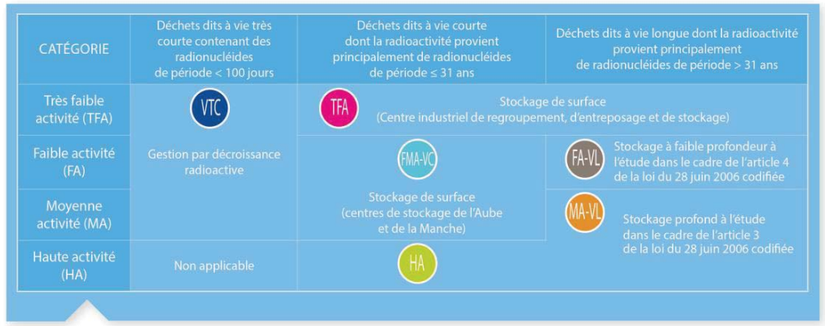
D'un point de vue sociétal, le nucléaire continue de susciter des inquiétudes. Les accidents de *Three Mile Island* en 1979, de *Tchernobyl* en 1986 et de *Fukushima* en 2011 ont eu un impact considérable sur les opinions publiques et sur l'acceptation du nucléaire : les questions couramment évoquées portent principalement sur la sûreté et la sécurité des installations, et sur la gestion des déchets radioactifs.

Le 25 septembre 2019 s'est clôturé le débat public sur le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2019-2021. Pendant 6 mois, la Commission particulière du débat public (CPDP) mise en place à cet effet a veillé à ce que toutes les parties prenantes puissent s'exprimer sur tous les aspects du plan. En amont du débat, la CPDP avait identifié deux sujets d'intérêt portant sur la gestion des déchets HA et MA-VL, sur lesquels l'expertise technique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a été sollicitée. C'est sur cet enjeu de gestion des déchets HA et MA-VL que porte le présent rapport. La CPDP a relevé quatre grandes préoccupations relatives à la gestion des déchets radioactifs entendues lors du débat public : la réalité de la réversibilité du centre de stockage Cigéo, la sûreté du stockage, la prise en compte de l'intérêt des générations futures et le coût du futur projet.

L'Inventaire national des matières et déchets radioactifs réalisé par l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) rend public l'état des stocks, la provenance et la localisation de l'ensemble des matières et déchets radioactifs présents en France. Le dernier inventaire fait état de plus de 1,6 millions de mètres cubes de déchets radioactifs existants au 31 décembre 2017. Plusieurs types de déchets composent cet inventaire. Ils sont classés selon deux critères :

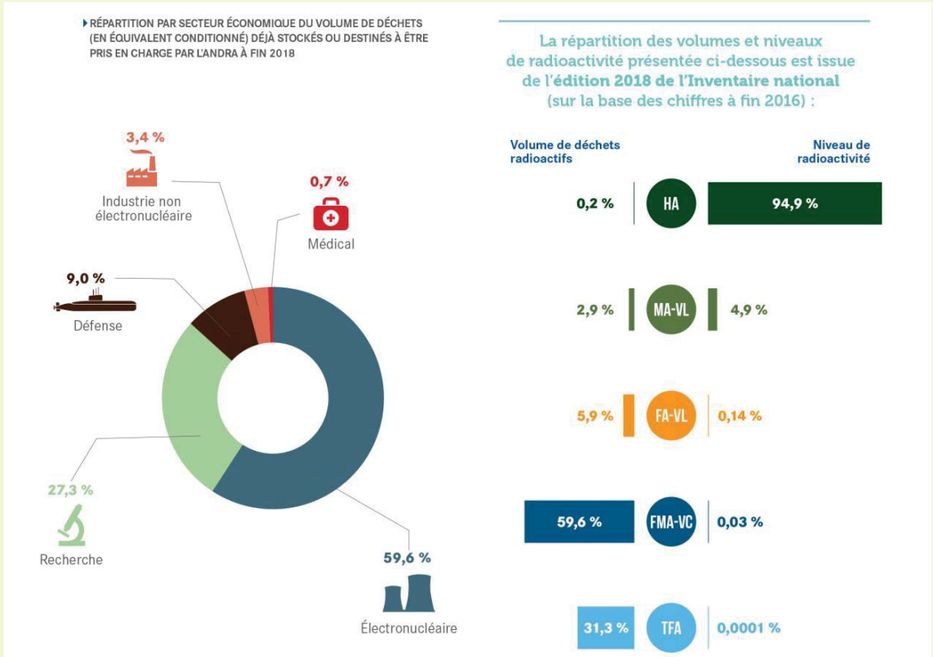
- le niveau d'activité, c'est-à-dire l'intensité du rayonnement émis, ce qui conditionne l'importance des protections à mettre en place pour se protéger de la radioactivité ;
- la période radioactive des produits contenus, qui permet de définir la durée de leur nuisance potentielle.

Cette classification permet schématiquement d'associer à chaque catégorie de déchets une ou plusieurs filières de gestion, comme présenté dans le tableau ci-dessous :



Classification usuelle des déchets radioactifs (8)

La figure ci-après concerne les stocks de déchets radioactifs à fin 2018 selon les secteurs économiques, les volumes et les niveaux de radioactivité.



Stocks de déchets radioactifs à fin 2018 (9)

Environ 30 % du volume de déchets est de très faible activité (TFA). Ces déchets sont stockés dans une installation spécifique, le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de l'Aube. En raison de la très faible radioactivité de ces déchets, le Cires a pu être construit en surface.

Les déchets de faible et moyenne activité et à vie courte (FMA-VC) représentent 60 % du volume total de déchets radioactifs. Les FMA-VC sont majoritairement des petits équipements contaminés lors de la maintenance et le fonctionnement des installations nucléaires françaises. Ils proviennent également de laboratoires de recherche, d'hôpitaux ou d'opérations d'assainissement et de démantèlement. Ces déchets contiennent essentiellement des radionucléides à période radioactive courte, c'est-à-dire inférieure ou égale à 31 ans. Ces déchets sont généralement compactés, puis conditionnés dans un fût en métal ou en béton, avant de pouvoir être stockés dans un centre adapté, le Centre de stockage de l'Aube (CSA). Ils présentent un très faible risque radiologique résiduel pour l'homme et l'environnement au bout de 300 ans[3], du fait de la décroissance radioactive.

Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) représentent 6 % du volume total de déchets radioactifs. Depuis quelques années, l'Andra étudie la possibilité de construire un centre de stockage à faible profondeur pour ces déchets. En attendant, les colis FA-VL déjà produits sont entreposés[4] dans des installations spécifiques.

Enfin, **les déchets objets de cette évaluation sont les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL),** qui représentent à peine plus de 3 % du volume de déchets répertoriés à

[3] Après 300 ans, la radioactivité de ces déchets a diminué d'un facteur 2^{10}, c'est à dire qu'elle est divisée par plus de 1000.
[4] L'entreposage se distingue du stockage, au sens où il est temporaire. Ce n'est pas une solution définitive. L'entreposage nécessite une surveillance active.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Introduction

l'inventaire. Si leur volume est relativement faible, leur niveau de radioactivité et leur durée de vie sont élevés : jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années pour les déchets HA et MA-VL. Les déchets HA concentrent à eux seuls 94,9 % de la radioactivité des déchets radioactifs français.

Ils sont essentiellement issus des combustibles utilisés dans les réacteurs nucléaires actuels (résidus non réutilisables obtenus lors du traitement permettant de recycler le plutonium et l'uranium contenus dans ces combustibles usés) et du fonctionnement des installations nucléaires[5].

Non valorisables, ces déchets, une fois produits, sont entreposés de manière temporaire dans des installations spécifiques sur les sites de production, essentiellement sur le site Orano de La Hague, les centres du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) de Marcoule, de Cadarache et de Valduc et prochainement dans l'installation temporaire d'EDF, appelée ICEDA pour installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés, sur le site de la centrale du Bugey.

Les sites d'entreposage nécessitent la surveillance active par l'homme des déchets radioactifs et des installations, ainsi que le renouvellement des entrepôts et la reprise des colis primaires usés ou abimés. C'est la raison pour laquelle l'entreposage est qualifié de solution temporaire de gestion active, par opposition à des solutions de gestion passive avec mise en sécurité définitive. Ces dernières ont fait l'objet de plusieurs programmes de recherche et développement ces 25 dernières années. C'est finalement une solution de mise en sécurité définitive de stockage en couche géologique profonde qui a été retenue en 2006, à l'issue d'un long processus législatif. C'est ainsi que Cigéo (pour Centre industriel de stockage géologique) est né, centre de stockage à implanter dans une couche d'argile située à environ 500 mètres de profondeur. Le centre doit être construit à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, au sein d'une couche d'argile, datant du Callovo-Oxfordien, qui présente des caractéristiques de stabilité et d'imperméabilité notamment, favorables au confinement des éléments radioactifs et au stockage profond de déchets radioactifs.

Le centre de stockage Cigéo est prévu sur une période supérieure au siècle, selon un phasage, nécessairement schématisé dans cette évaluation socioéconomique, de la manière suivante : après des travaux d'aménagements préalables, l'obtention du décret d'autorisation de création conditionne le démarrage des travaux de construction initiale. Une phase industrielle pilote débute lors de la construction initiale et se poursuit jusqu'à l'obtention de la mise en service et quelques années de fonctionnement ; elle comporte des essais en inactif (sans colis de déchets radioactifs) puis après obtention de l'autorisation de mise en service, suivent des essais en actif (avec des colis de déchets radioactifs), visant à confirmer le fonctionnement en conditions réelles. Sur la base d'un bilan de la phase industrielle pilote permettant de fixer les conditions de sortie de cette phase et d'une loi adaptant les conditions de poursuite du fonctionnement (date estimée dans cette évaluation vers 2040), le passage en phase de fonctionnement permettra le stockage des colis de déchets MA-VL puis HA sur le centre de stockage Cigéo jusqu'en 2145, dont l'acheminement est prévu par voie ferrée et par route. Les déchets MA-VL et HA représentent un peu plus de 200 000 colis. Pendant la phase de fonctionnement, le stockage géologique est dit réversible : il restera possible de revenir sur des choix antérieurs grâce à la progressivité, à la flexibilité et à l'adaptabilité avec lesquelles l'installation est conçue ; de plus les colis de déchets seront récupérables, ce qui signifie qu'ils peuvent être retirés du centre de stockage Cigéo. Après cette date, le centre de stockage Cigéo est fermé. La couche géologique prend alors le relais des actions de surveillance active de l'homme, pour assurer le confinement des radionucléides et la protection de l'homme et de l'environnement.

Le coût afférent à la mise en place de la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue a été initialement estimé à environ 35 milliards d'euros par l'Andra puis optimisé. Le ministère chargé de l'Énergie a arrêté en janvier 2016 le chiffre de 25 milliards d'euros (Direction générale énergie climat) sur la période 2016-2156.

Le financement de ce projet est assuré par les producteurs responsables de leurs déchets, selon le principe du pollueur-payeur inscrit dans la loi. Ces derniers constituent en conséquence des provisions

[5] Il s'agit principalement des internes de cuve activés lors du fonctionnement des centrales voire de certaines parties de la cuve fortement exposées au flux neutronique. Ce sont des MA-VL. Certains composants d'Iter (bobines activées) rentrent également ici.

contrôlées par les ministères chargés de l'Économie et de l'Énergie, selon une clé de répartition[6] historique (10) définie en 2000 et appliquée aujourd'hui aux coûts de recherche et de conception relatifs au stockage géologique : EDF 78 %, le CEA[7] 17 % et Orano 5 %. Cette clé de répartition entre les trois producteurs a vocation à être rediscutée entre l'État et les producteurs dès la fin de la phase actuelle de conception initiale du centre de stockage Cigéo.

L'évaluation socioéconomique de ce projet d'investissement répond à :

- Une obligation réglementaire : conformément au décret n° 2013-1211 du 23 décembre 2013 (5), toutes les opérations dont le financement apporté par l'état et ses établissements publics (ici au travers du CEA), dépasse les 20 millions d'euros, doivent procéder à une évaluation socioéconomique préalable. Le décret stipule également que pour les opérations dont l'investissement est supérieur à 100 millions d'euros, une contre-expertise indépendante doit être réalisée, pilotée par le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI).
- Un questionnement sur l'intérêt social du projet ou de l'une de ses variantes : en période budgétaire contrainte, seuls les projets les plus créateurs de valeur doivent être lancés. Au-delà de la logique budgétaire et en dépassant les dogmes, l'évaluation socioéconomique permet de quantifier et d'objectiver les impacts socioéconomiques du projet, c'est-à-dire l'ensemble de ses coûts, mais aussi de ses bénéfices ou des éventuels coûts économiques, sanitaires ou environnementaux qu'il permet d'éviter. Cela en fait un outil de dialogue.
- Un intérêt en vue d'aiguiller les choix opérationnels : la réalisation d'une évaluation en phase amont des opérations permet de mobiliser les résultats et les préconisations du rapport d'évaluation dans la mise en œuvre ou non des opérations et leur aménagement.

La démarche de l'évaluation socioéconomique permet de répondre à deux questions fondamentales :

1. **À quoi sert le projet ?**
2. **Le projet est-il suffisamment créateur de valeur « socioéconomique » sur le temps long, au regard de ce qu'il coûte à la collectivité ?**

Il s'agit dès lors d'une analyse coût-bénéfice, qui intègre, outre la dimension financière, des impacts d'autres natures, comme des impacts environnementaux et sociaux. L'évaluation socioéconomique est une évaluation en différentiel : en d'autres termes, elle nécessite de comparer les coûts et bénéfices du projet avec les coûts et bénéfices de variantes du projet ou de l'absence de projet.

Dans un secteur nucléaire marqué par une culture de sûreté et un cadre législatif spécifiques, l'évaluation socioéconomique du projet Cigéo complète l'approche :

- Bien que le principe du stockage en couche géologique profonde ait été acté par la loi, la réalisation de l'évaluation socioéconomique du centre de stockage Cigéo a nécessité de comparer cette solution de gestion des déchets avec des solutions prospectives, pour lesquelles un chiffrage a dû être réalisé. La solution prospective de stockage des déchets la plus vraisemblable est apparue être la technologie de stockage en forage profond (*deep borehole)*. Ce choix s'est justifié par la publication de l'IRSN traitant du « Panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue, édité dans le cadre du débat public sur le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) et par des études américaines. De la même façon, l'évaluation a conduit à étudier les conséquences d'un *statu quo*, c'est-à-dire d'un entreposage de très longue durée, nécessitant la surveillance de l'homme. Il est apparu nécessaire d'ouvrir le champ des possibles, en s'éloignant parfois du cadre légal, ce qui est une pratique courante des évaluations socioéconomiques. Comme il n'existe pas d'étude d'ingénierie technico-économique des solutions prospectives envisagées dans certaines options, les rapports publics existants ont été utilisés pour en élaborer un chiffrage.

[6] Cette clé de répartition ne concerne pas tous les coûts, ce qui est sans incidence sur les résultats de l'évaluation socioéconomique.
[7] Le CEA est un organisme public de recherche à caractère scientifique, technique et industriel.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Introduction

- Comme dans toute activité humaine, le risque zéro n'existe pas dans l'industrie nucléaire. Ainsi, l'objectif de la démarche de sûreté est de prévenir les risques d'accident et d'en limiter les conséquences dans l'hypothèse où l'accident surviendrait quand même : une fois les objectifs de sûreté définis, des défaillances possibles sont imaginées (séisme, perte d'alimentation électrique, attaque extérieure, etc.) et le comportement de l'installation est simulé. La démarche de sûreté permet de déterminer les mesures (diversité de barrières étanches par exemple) visant à exclure l'événement ou à s'assurer que les conséquences extérieures soient limitées et acceptables. Mais cette logique est orthogonale à celle de l'évaluation socioéconomique, qui implique de quantifier les conséquences de ce qu'il pourrait se passer de meilleur comme de pire. La présente évaluation a donc requis d'estimer les conséquences d'un accident, comme par exemple un incendie en entreposage dans une société chaotique, dans laquelle les mesures du maintien et de réduction des conséquences ne soient plus opérantes.

Enfin, si l'évaluation socioéconomique a impliqué une approche nouvelle dans la filière nucléaire, elle a également représenté un formidable terrain de recherche-action et un défi pour l'analyse économique. C'est l'exercice le plus complet d'évaluation socioéconomique connue sur la gestion des déchets radioactifs. Pour les raisons exposées précédemment, la formulation d'hypothèses a été nécessaire tout au long de l'évaluation pour quantifier coûts et risques des différentes options. La prise en compte de risques difficiles à quantifier (en termes aussi bien de probabilités que de conséquences), a constitué un défi pour l'évaluation socioéconomique, que des raisonnements en termes d'ordres de grandeur et des *scenarii* stylisés ont tenté de résoudre. Par ailleurs, par la nature même du projet, l'évaluation a nécessité de modéliser des horizons temporels très longs, qui dépassent largement les durées de vie habituellement considérées pour évaluer les projets d'autres secteurs.

D'ici à plusieurs siècles, les tendances de croissance se poursuivront-elles ? Les normes continueront-elles à évoluer ? Quelles seront les trajectoires des prix ? Devant l'impossibilité de prédire l'état de la société et de ses indicateurs macroéconomiques, deux *scenarii* de sociétés ont été imaginés et modélisés, dans lesquels le projet global Cigéo et ses variantes ont été étudiés. Par ailleurs, quelle valeur donner au très long terme ? Le calcul socioéconomique traditionnel recommande d'actualiser les flux futurs, et en particulier, cette évaluation socioéconomique a justement permis de questionner la valeur du taux d'actualisation socioéconomique de très long terme, au travers de 3 hypothèses (borne haute, taux intermédiaire et borne basse).

Ainsi, l'évaluation socioéconomique du projet global Cigéo revêt un caractère aussi inédit, qu'exploratoire. Les résultats de cette évaluation sont jalonnés d'hypothèses qui sont ouvertes à la discussion. D'ailleurs les résultats sont soumis à des tests de sensibilité de valeur des paramètres.

Le rapport d'évaluation socioéconomique est organisé comme suit : le chapitre 1 présente les grands principes de l'évaluation socioéconomique et énonce en quoi son application au projet global Cigéo nécessite des ajustements et approfondissements méthodologiques imaginés dans ce cadre spécifique. Le chapitre 2 donne des éléments du contexte nucléaire français en général et relatif à la gestion des déchets radioactifs en particulier. Il propose également une comparaison avec les choix réalisés à l'étranger, dans 13 autres pays.

Le chapitre 3 présente les *scenarii* macroéconomiques possibles dans lesquels le centre de stockage Cigéo pourrait voir le jour et être exploité. Il permet également de poser les jalons théoriques qui sous-tendent les différentes simulations relatives au taux d'actualisation et expose la manière dont sont effectuées les décisions optimales du point de vue mathématique dans un contexte où les choix et aléas sont multiples.

Puis, le chapitre 4 est dédié à la présentation des options qui sont comparées entre elles. Dans le chapitre 5, les coûts de ces différentes options sont détaillés : la formation des coûts bruts, mais également les coûts dans les différents *scenarii* et en tenant compte de l'actualisation. À chaque étape des calculs de sensibilité sont effectués. Le chapitre 6 quant à lui, propose, face aux coûts des différentes options, de s'interroger sur la façon dont les options permettraient de se protéger des conséquences d'un accident nucléaire relatif aux déchets radioactifs dans une société chaotique. Les conséquences d'un accident sont donc estimées et différentes probabilités d'accident sont étudiées.

Enfin en conclusion, le chapitre 7 fait la synthèse en mettant en évidence les comparaisons des couples « coûts-bénéfices » des différentes options étudiées, dans chaque scénario de société.

NOTA BENE

Débutée en janvier 2018, les travaux de la présente évaluation socioéconomique se sont poursuivis en 2019 pour être finalisés en 2020. L'année 2019, au cours de laquelle sont apparus les premiers résultats, a donc été choisie comme année de référence pour le calage temporel du modèle (année t0).

1

Présentation de la méthode d'évaluation socioéconomique

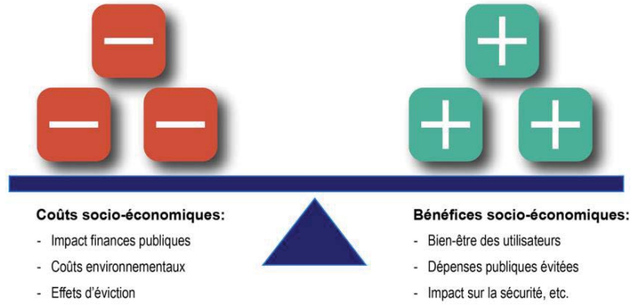
1.1 La démarche et le principe 26
1.2 Les particularités de l'analyse coûts-bénéfices 27
1.3 Les indicateurs calculés 28
1.4 Les spécificités et limites de l'analyse coûts-bénéfices du projet global Cigéo 29

1.1 La démarche et le principe

L'évaluation socioéconomique constitue un outil d'aide à la décision publique permettant de mesurer l'utilité de l'investissement. Grâce à l'analyse coûts-bénéfices, elle permet de déterminer si, compte tenu de son coût, un projet est suffisamment créateur de valeur. Elle consiste à comparer les coûts et les bénéfices de toutes natures, pour l'ensemble des acteurs du projet, et sur le temps long. Les procédures pour effectuer cette comparaison ont été codifiées par des rapports et directives de France Stratégie, dont les plus pertinentes pour la présente évaluation sont le rapport sur l' « Évaluation socioéconomique des investissements publics » de 2013 et le « Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics » de 2017, auxquels le lecteur peut se reporter pour avoir davantage de détails et précisions sur la méthode, et auxquels il sera souvent fait référence dans ce rapport.

L'évaluation socioéconomique se distingue notamment de l'évaluation financière par le périmètre des impacts pris en compte : l'évaluation financière examine uniquement les effets financiers d'une opération (dépenses et recettes), tandis que l'évaluation socioéconomique s'intéresse à un périmètre d'impacts bien plus large, à la fois en nature et en termes d'acteurs touchés. Si les projets d'intérêt général ont un coût, ils sont rarement générateurs de recettes (c'est le cas du projet Cigéo : il n'a aucune visée commerciale et ne génère pas de recettes). Pourtant, les projets d'intérêt général ont des bienfaits que l'analyse socioéconomique prend en compte : ces coûts et bénéfices peuvent être de nature économique, sanitaire, sociale, environnementale, etc. (cf. Figure 1.1-1).

Le principe de l'évaluation socio-économique: la création de valeur d'un projet dépasse-t-elle ses coûts?



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0007-A

Figure 1.1-1 Le principe de l'évaluation socioéconomique

1.2 Les particularités de l'analyse coûts-bénéfices

Deux particularités caractérisent les évaluations socioéconomiques :

1.2.1 Des évaluations en différentiel

Ces évaluations ne peuvent qu'être différentielles. Dans les rapports de France Stratégie, cette différence s'effectue entre une situation **sans le projet,** appelée indifféremment « option de référence » ou « contrefactuel », et une situation avec **mise en place du projet** appelée « option de projet ». Ici, l'approche adoptée propose une analyse en différentiel plus riche puisqu'elle compare l'option de projet centrale avec de nombreuses autres options et des variantes. Ainsi, les résultats de ces études indiquent le delta de création (ou de destruction) de valeur du projet par rapport aux autres options.

Les différentes options se placent dans un cadre commun appelé « **scénario de référence** », lequel rassemble des « hypothèses claires, crédibles et fondées relatives au contexte d'évolution future, exogène au projet » (instruction du 16 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport et sa note technique du 27 juin 2014, Ministère de l'Écologie du Développement durable et de l'Énergie). En d'autres termes, le scénario de référence présente le contexte économique, social et environnemental dans lequel s'inscrit le projet. En général, le contexte économique est défini sur la base d'hypothèses d'évolution des variables exogènes (sur lesquelles le porteur de projet n'a pas de maîtrise) et qui peuvent influencer l'intérêt de l'investissement. Dans le cas où des hypothèses très contrastées peuvent être formulées quant à l'évolution du contexte économique (comme c'est le cas pour ce projet qui s'inscrit dans un temps très long), plusieurs *scenarii* peuvent être modélisés.

1.2.2 La monétarisation

Afin de comparer des coûts et bénéfices de différentes natures, ceux-ci doivent être exprimés dans une unité commune. L'unité monétaire est la référence, ce qui implique de procéder à une monétarisation.

La monétarisation des coûts et bénéfices peut s'effectuer de plusieurs façons :

- lorsque l'impact constitue un impact économique direct, il s'exprime directement en unité monétaire, à l'instar des coûts évités liés à la diminution de la consommation d'énergie par exemple ;
- pour d'autres impacts, des valeurs de référence (dites « valeurs tutélaires ») peuvent être utilisées. Le rapport Quinet et le guide méthodologique (2013 (11)) définissent un certain nombre de valeurs tutélaires, telles que la valeur du temps, ou la valeur de la tonne de CO_2, ou encore la valeur de la vie humaine.
- lorsque de telles valeurs de référence n'existent pas, les impacts qui ont pourtant une traduction en termes de bien-être, sont monétarisés en extrapolant les résultats d'articles académiques. Ces articles peuvent mobiliser une des deux méthodologies suivantes :
  - ✓ la première a pour objet de faire « révéler les préférences » des individus, et *in fine* de leur donner une valeur : ce sont les techniques de préférences déclarées ou révélées, ou celles de prix hédoniques. Par exemple, ces méthodes ont permis de révéler le consentement à payer pour s'assurer contre un accident nucléaire en Suisse (Zweifel, Schneider et Wyss, 2005 (12)) ;
  - ✓ la seconde évalue les coûts ou bénéfices économiques complets et à long terme attribuables aux impacts. C'est par exemple l'exercice auquel s'est livré l'IRSN (13), qui a estimé en 2013 le coût économique des accidents nucléaires, impliquant la fusion du cœur d'un réacteur de production d'électricité en France, et les impacts associés en termes de coûts d'image (tourisme, produits agricoles, industrie), de coûts liés à la production d'énergie, de coûts de gestion des territoires contaminés, de coûts radiologiques hors site (coûts de santé, pertes agricoles), de coûts sur site (décontamination, démantèlement, électricité non produite).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Présentation de la méthode d'évaluation socioéconomique

1.3 Les indicateurs calculés

Une fois l'ensemble des coûts et bénéfices traduits dans l'unité monétaire, des indicateurs socioéconomiques sont calculés, et notamment :

La Valeur Actualisée Nette (VAN) socioéconomique : c'est la création de valeur collective créée par le projet (gains socioéconomiques), nette des coûts du projet, sur l'ensemble de la vie du projet, ramenée en une valeur d'aujourd'hui. En d'autres termes, ce sont les bénéfices socioéconomiques, moins les coûts socioéconomiques, exprimés en différentiel.

Une VAN positive (> 0) indique que le projet est préférable à l'option à laquelle cette VAN le compare. Parmi les différentes options de projet, ce critère donne l*a priori*té à l'option dont la VAN est la plus élevée.

Là encore, on note deux spécificités du calcul socioéconomique :

- Le **coût socioéconomique** du projet ne doit pas être assimilé au montant investi dans le projet. Plusieurs raisons à cela :
  - ✓ on tient compte des coûts sur l'ensemble de la durée de vie du projet, c'est-à-dire, des coûts d'entretien et de maintenance par exemple ;
  - ✓ les fonds publics étant rares, on multiplie les montants publics dépensés par un coût d'opportunité des fonds publics (COFP), dont la valeur est donnée par le rapport Quinet (2013 (11)) à 1,25 et qui représente le coût supplémentaire par unité d'argent prélevée. S'agissant du projet Cigéo, le principe du pollueur-payeur s'applique. Ainsi, seule une partie du financement provient d'un établissement public producteur de déchets : celle du CEA[8]. À noter que la quote-part de ce financement public a toutefois vocation à être discutée entre l'État et les producteurs dès la fin de la phase actuelle de conception initiale du centre de stockage Cigéo.
- Les euros de périodes différentes ne présentent pas la même utilité. Le taux d'actualisation sert à ramener en valeur d'aujourd'hui des coûts ou des bénéfices qui surviendront demain. En effet, 1 euro demain a une valeur moindre que 1 euro aujourd'hui. Ce taux d'actualisation est composé d'une part, d'un taux sans risque représentant les effets de la croissance économique et de la préférence pure pour le présent ; et, d'autre part, d'une prime de risque, reflétant le caractère pro ou anticyclique du projet. Le rapport de France Stratégie de 2013 demande de calculer les VAN dans deux systèmes d'actualisation, le premier avec un taux fixe, le même pour tous les projets, le second avec un taux différent d'un projet à l'autre et tenant compte de la sensibilité du projet au risque systémique. Notons que le taux d'actualisation, si son jeu dans les calculs est le même que celui du taux d'intérêt financier, n'a pas du tout le même rôle, et n'est pas déterminé selon les mêmes principes. Ces points seront développés dans le chapitre 3 pour la partie théorique, et mis en pratique dans le chapitre 5 du présent document.

La présente évaluation socioéconomique compare les différentes options du point de vue de leurs coûts et coûts évités. L'indicateur final, plutôt qu'une valeur actualisée nette, est appelé coût global actualisé. Ainsi, plutôt que de retenir l'option dont la VAN est la plus élevée, on retiendra l'option qui a le coût global actualisé le plus faible.

[8] Alors que l'application d'un COFP est la règle générale pour une évaluation socioéconomique, il n'est ici pas pris en compte. En premier lieu, le financement public représentant une part faible du financement total (soit 25 % à appliquer sur la seule part du CEA), son application ne changerait pas les ordres de grandeur en jeu dans cette évaluation. En second lieu, parce que l'application d'un COFP vise à valoriser les distorsions, or le principe du pollueur-payeur est de nature à réduire ces distorsions.

1.4 Les spécificités et limites de l'analyse coûts-bénéfices du projet global Cigéo

Si le principe général de l'évaluation socioéconomique est commun à tous les projets évalués, quel que soit le secteur, l'évaluation socioéconomique de la solution actuellement retenue pour gérer les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) pose d'importants défis méthodologiques. Une discussion élargie des limites de l'évaluation socioéconomique appliquée au projet de centre de stockage Cigéo sera proposée au chapitre 7. Mais, dès à présent, il importe d'en exposer les singularités essentielles, de façon à guider la lecture des analyses produites.

1.4.1 L'incertitude liée à l'estimation des coûts et bénéfices des solutions étudiées

Actuellement, les déchets HA et MA-VL déjà produits sont entreposés de manière sûre dans des installations de surface, il s'agit là d'un mode de gestion temporaire d'après les conclusions rendues par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en 2006, pour lequel l'entreposage de longue durée « *ne peut pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue* » (cf. Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL), menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 (14)).

L'ASN souligne notamment le risque et les contraintes liés à la gestion de l'entreposage sur une longue durée et donc, périodiquement, la nécessité de reconditionner des déchets et de reconstruire les installations d'entreposage. L'autorité pointe aussi la « *difficulté d'anticiper et de modéliser le vieillissement de l'installation et des colis de déchets sur de longues périodes dans la démonstration de sûreté* ». Enfin, l'entreposage ne peut pas constituer une solution pérenne, compte tenu du fait que cette solution nécessite un entretien et une surveillance humaine constante. Or, l'ASN relève qu'il n'est pas possible de garantir la pérennité des institutions sur des périodes aussi longues.

C'est dans l'optique de répondre à cette contrainte de pérennité que d'autres solutions ont été envisagées, et ont fait l'objet de nombreuses années de recherches et développement (R&D). Pourtant, dans la mesure où ces solutions n'ont jamais réellement été industrialisées, la quantification de leurs atouts comme de leurs inconvénients respectifs reste difficile à établir.

Bien que l'estimation des coûts ne pose pas de problème conceptuel majeur, nous verrons, en particulier dans le chapitre 5 du présent document, que les estimations de coûts sont, pour certaines, issues d'estimations très détaillées, et pour d'autres qu'elles sont le fruit d'extrapolations de travaux conduits à l'étranger. Compte tenu de l'hétérogénéité des normes de sûreté notamment, des hypothèses ont dû être posées pour transcrire les estimations de coûts au contexte français. L'ensemble de ces hypothèses est décrit de façon transparente tout au long du rapport. Elles n'ont d'autre vocation que celle de modéliser et illustrer les conséquences des choix stratégiques qui se présentent au décideur, et peuvent sans difficulté être soumises à la discussion des experts techniques.

L'estimation des bénéfices des différentes modalités de gestion des déchets radioactifs est plus délicate encore. Par bénéfice ou qualité, il faut comprendre la capacité des solutions évaluées à confiner et isoler les déchets de manière sûre sur l'ensemble de la durée de vie des déchets. Or, pour les déchets les plus radioactifs, la durée de vie peut dépasser la centaine de milliers d'années. Dès lors, pour inclure le critère bénéfice dans l'évaluation, il convient d'estimer d'une part la probabilité qu'un accident survienne : on se réfère alors aux normes de sûreté de l'Agence internationale de l'énergie atomique, soit 10^{-6} par an. D'autre part, il est nécessaire de calculer ce que coûterait un accident lié à la gestion des déchets radioactifs, pour, en miroir, estimer le bénéfice ou coût évité d'un accident par une technologie qui permettrait de s'en prémunir.

C'est sur ce dernier point que l'évaluation est particulièrement complexe ; il existe en effet très peu de travaux portant sur l'estimation économique des conséquences d'un accident nucléaire (Munro, 2011 (15)). En France, une étude a été menée par l'IRSN (2013 (13)) sur l'estimation du coût économique des accidents nucléaires. Si cette étude est une base précieuse pour la modélisation du coût d'un accident, utilisée dans cette évaluation pour certaines catégories de coûts (notamment, les coûts des réfugiés), la méthodologie n'est, sur certains aspects, pas adaptée au cas d'un accident lié à la gestion des déchets radioactifs et parfois lacunaire en données sur d'autres aspects (notamment, les coûts de décontamination[9]).

Afin d'estimer les conséquences économiques et environnementales d'un potentiel accident lié à la gestion des déchets radioactifs, la présente évaluation a plutôt mobilisé les données issues de l'accident de Fukushima (2011). L'utilisation de cet accident comporte toutefois d'importantes limites :

- L'accident concerne une centrale en exploitation, et non un accident d'entreposage ou de stockage de déchets ;
- Les effets à long terme, et notamment sanitaires, de l'accident de Fukushima ne sont pas encore connus. Par ailleurs, cet accident s'est produit dans une société en ordre de marche (c'est-à-dire capable de se mobiliser pour circonscrire les conséquences d'un accident), ce qui a notamment permis une évacuation rapide des populations. Or l'hypothèse d'une société en ordre de marche à un horizon de plus de 100 ans est discutée dans cette étude.

Dans ce contexte, la présente évaluation socioéconomique vise à établir un jeu d'hypothèses crédibles, posées en transparence, de façon à contribuer au dialogue, construire des solutions plus partagées et faire des choix éclairés.

1.4.2 L'incertitude liée à la durée de vie du projet

La temporalité du projet de centre de stockage Cigéo, excède les horizons des évaluations socioéconomiques classiques, qui sont au maximum de l'ordre du siècle. Pour ce centre de stockage Cigéo, non seulement la construction et le fonctionnement s'étalent sur plus d'un siècle, mais surtout, un de ses principaux atouts réside dans son non-usage : contrairement à l'entreposage, la solution de stockage en couche géologique profonde ne nécessite plus de surveillance active de la part de l'homme, une fois l'installation refermée.

Cette dimension temporelle particulière a deux conséquences majeures :

1. À ces horizons lointains, il est très difficile d'envisager ce que seront la société et l'économie françaises. La bonne réalisation des différents projets d'investissement et leurs impacts sont donc marqués par une très forte incertitude de long terme.
2. La détermination d'un taux d'actualisation sur plusieurs siècles est un exercice très délicat étant donné la très forte incertitude à cet horizon, en particulier sur la croissance de l'économie (Weitzman, 2001 (16)). Dans le cas présent, l'horizon dépasse même celui usuellement pris en compte dans l'analyse du changement climatique (Stern, 2007 (17) ; Nordhaus, 2008 (18)).

[9] Ces estimations sont basées sur le retour d'expérience de Three Mile Island qui pourrait s'avérer sous-estimé. « *Les informations qui proviendront de Fukushima seront précieuses, notamment par les coûts unitaires d'opérations précises […] Les chiffres globaux devront donc être utilisés avec prudence.* » (Source : Méthodologie appliquée par l'IRSN pour l'estimation des coûts d'accidents nucléaires en France. Rapport IRSN PRP-CRI/SESUC/2013-00261)

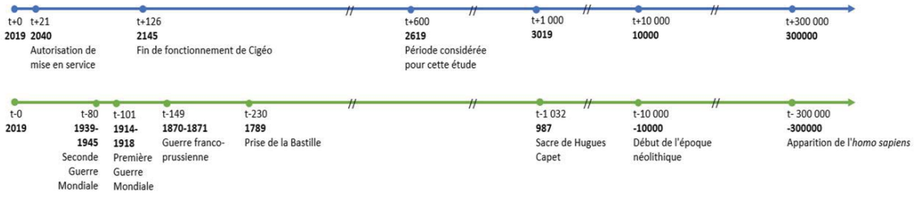
1.4.3 L'incertitude relative à l'état de la société (scénarisation)

En premier lieu, on relève la difficulté à anticiper l'évolution de l'état de la société, s'agissant de la force de ses institutions et de sa gouvernance.

La fermeture du centre de stockage Cigéo est estimée à un horizon de 126 ans, à compter de 2019. Cette durée correspond, à rebours, au tournant du XXe siècle, à une époque située entre la première guerre mondiale et la guerre franco-prussienne.

La période considérée pour l'évaluation socioéconomique de ce projet est plus longue encore (600 ans[10]) correspondant, à rebours, à une date proche de l'arrivée de Christophe Collomb en Amérique et la découverte de ce continent.

Enfin, la disparition de la radioactivité des radionucléides aux vies les plus longues, correspond, à nouveau à rebours et en ordre de grandeur, à l'apparition de l'homo-sapiens.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0008-B

Figure 1.4-1 Contextualisation des échelles de temps de l'évaluation socioéconomique

Remis dans cette perspective temporelle, on comprend dès lors que l'état futur de la société est difficile à anticiper même à l'ordre d'un ou deux siècles. Or, de l'état de la société découlera l'importance accordée à la sûreté, à l'environnement et au progrès technologique et, le cas échéant, à affronter les conséquences d'accidents dans la gestion des déchets. S'il est légitime de penser qu'une société en déshérence accordera moins de poids à l'environnement, alors les normes de sûreté et donc la probabilité d'un accident nucléaire diffèrera largement entre une société en ordre de marche et une société chaotique.

En second lieu, et intimement liée à l'état de la société, on soulignera l'évolution de la croissance économique. Si les projections de croissance économique à très court terme se révèlent relativement robustes, les projections à moyen terme sont beaucoup plus incertaines (19). Une estimation précise de l'état de l'économie française, ne serait-ce qu'à l'horizon de la fermeture de Cigéo (dans 125 ans environ), paraît ainsi peu réaliste.

Or, un système de prix relatifs, basé sur l'évolution du PIB/tête, permet de tenir compte des évolutions des préférences dans le temps. Prenons par exemple un bien dont la valeur en 2019 est estimée à 1 million d'euros, valeur supposée augmenter au même rythme que le PIB/tête. Si nous considérons une augmentation constante de 1,5 % du PIB/tête par an, la valeur de ce bien atteint 2,1 millions d'euros en 2070. Si cette croissance n'est que de 1 %, la valeur du bien ne serait « que » de 1,7 millions d'euros en 2070.

[10] La durée d'étude centrale est de 600 ans. Bien que largement inférieure à la durée pendant laquelle le centre de stockage Cigéo peut livrer ses atouts comparativement à d'autres options, il s'agit du siècle au-delà duquel les variations de résultats deviennent non significatives. Pour mémoire, la durée de la conservation de la mémoire du stockage est fixée à 500 ans dans le guide de sûreté de l'ASN.

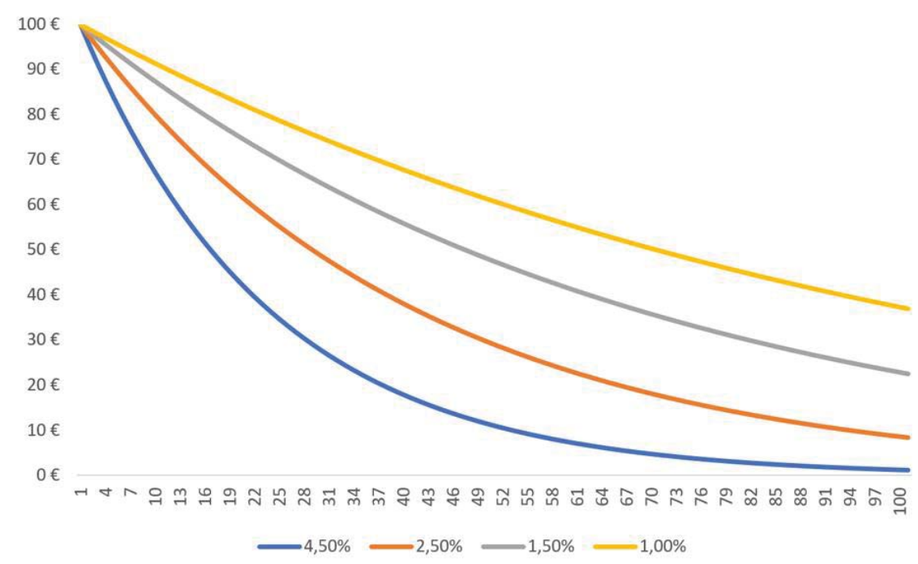
Pour tenir compte de ces incertitudes, la présente évaluation socioéconomique n'inscrit pas les options de projet étudiées dans un seul scénario de référence, mais propose de modéliser deux *scenarii*, c'est-à-dire deux états de monde stylisés et « extrêmes » :

- le scénario « OK » correspond à une société prospère, en paix, bénéficiant d'institutions fortes et d'un État de droit (à l'image de ce qui est observé sous la V^{ème} République et dans le cadre de l'Union européenne (UE). La croissance économique y est positive ; c'est, au moins pour les premières décennies, le scénario utilisé habituellement dans les évaluations socioéconomiques ;
- le scénario « KO » décrit une crise institutionnelle et sociale durable et profonde, présentant un risque important de guerre sur le territoire national. La croissance économique y est moindre. Dans ce contexte, les normes sont moins rigoureuses et la probabilité de survenue d'un accident plus élevée. Il ne s'agit pas de pronostiquer le chaos, mais d'envisager que les situations de crises et de conflits traversées au cours des siècles derniers puissent à nouveau advenir (ce qui, *a contrario*, ne peut être raisonnablement exclu).

1.4.4 L'incertitude relative à la valorisation à long terme (taux d'actualisation et prime de risque)

L'estimation du taux d'actualisation n'échappe pas aux difficultés déjà mentionnées, compte tenu de l'horizon très lointain considéré, or elle a une influence majeure sur les résultats de l'évaluation socioéconomique (pour cette même raison).

Le graphique ci-dessous est l'illustration de l'évolution de la valeur actualisée à des taux différents d'une somme de 100 € dépensée dans le futur. On observe que les valeurs actualisées évoluent de façon sensiblement différente (cf. Figure 1.4-2).



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0009-B

Figure 1.4-2 Simulation de valeurs actualisées, en fonction du choix de taux d'actualisation

Une valeur de 100 € positionnée dans 50 ans, vaut :

- 11 €, ramenée en valeur d'aujourd'hui, lorsqu'un taux de 4,5 % est utilisé (recommandé par le rapport Quinet) ;
- 29 €, ramenée en valeur d'aujourd'hui, lorsqu'un taux de 2,5 % est utilisé ;
- 47 €, ramenée en valeur d'aujourd'hui, lorsqu'un taux de 1,5 % est utilisé ;
- 61 € ramenée en valeur d'aujourd'hui, lorsqu'un taux de 1,0 % est utilisé.

Cet exemple montre à quel point le taux d'actualisation permet d'accorder plus ou moins de poids au futur : plus la valeur du taux d'actualisation est forte, plus le poids accordé au futur est faible et plus la valeur du taux d'actualisation est faible, plus le poids accordé au futur est important.

L'incertitude attachée à la détermination du taux d'actualisation est d'autant plus élevée qu'elle suppose l'estimation de paramètres également frappés d'incertitudes, *a fortiori* sur les échelles de temps considérées, ce qui justifie d'explorer, à côté des valeurs recommandées par les instructions officielles, d'autres valeurs, en particulier pour les prolonger dans le temps, car elles se limitent à un horizon bien inférieur à celui qui est en cause dans la présente évaluation socioéconomique. Comme nous le verrons dans le chapitre 3 et dans l'annexe dédiée à la discussion sur le taux d'actualisation (cf. annexe 1), celui-ci est composé d'une partie dite « taux sans risque », qui est indépendant du projet et qui reflète la préférence pour le présent, les anticipations de croissance (effet richesse) et les arbitrages entre épargne et consommation (effet de précaution). Plus le futur est incertain, plus le taux sans risque décroit dans le temps. L'autre partie du taux d'actualisation est appelé « prime de risque », qui traduit la corrélation ou non corrélation des flux socioéconomiques du projet au PIB.

Pour l'ensemble de ces raisons, l'évaluation socioéconomique du projet Cigéo revêt un caractère aussi inédit qu'exploratoire. Les résultats de cette évaluation sont jalonnés d'hypothèses, ouvertes à la discussion. D'ailleurs les résultats sont soumis à des tests de sensibilité de valeur des paramètres. Malgré les incertitudes, le parti a toujours été pris, au cours de cette évaluation, de proposer une modélisation qui éclaire le choix du public, plutôt que de renoncer à évaluer, au motif des complexités. Au gré des progrès des connaissances, le modèle qui sous-tend ce rapport, pourra être complété et discuté.

2

Contexte et stratégie nationale

2.1 L'origine de la production de déchets radioactifs 36
2.2 La gestion des déchets radioactifs : le contexte français 38
2.3 Le cas des déchets HA et MA-VL 41
2.4 Le choix du projet Cigéo, description et cheminement 44
2.5 La gestion des déchets HA et MA-VL à l'international : panorama 49

Ce chapitre vise à proposer, dans des termes non techniques, une description du paysage de la production d'énergie d'origine nucléaire en France et à l'international. Il revient en détails sur le cas français, l'origine des déchets, leur classification et l'historique du projet Cigéo. Il a également vocation à présenter la situation relative à la gestion des déchets radioactifs dans 13 pays étrangers. Ce panorama montre que la France est en pointe sur le sujet et il servira de base à la justification de certaines hypothèses dans les chapitres suivants.

2.1 L'origine de la production de déchets radioactifs

Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée. La gestion des déchets radioactifs comprend toutes les activités liées à la manipulation, au prétraitement, au traitement, au conditionnement, à l'entreposage et au stockage des déchets radioactifs. En France, cinq secteurs économiques conduisent à la production, la détention ou la gestion de matières et de déchets radioactifs :

- le secteur électronucléaire (centrales nucléaires de production d'électricité, usines dédiées à la fabrication du combustible nucléaire et au traitement du combustible nucléaire usé, etc.) ;
- le secteur de la recherche (activités de recherche du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives en particulier) ;
- le secteur de la défense (force de dissuasion et recherche associée, propulsion, etc.) ;
- le secteur de l'industrie non électronucléaire (extraction de terres rares, fabrication de sources scellées, stérilisation et conservation de produits alimentaires, etc.) ;
- le secteur médical (activités diagnostiques et thérapeutiques : scintigraphies, radiothérapies, etc.).

Les secteurs qui contribuent le plus à la production de déchets radioactifs sont les secteurs de l'électronucléaire, de la recherche et de la défense.

En France, la classification des déchets radioactifs repose principalement sur deux paramètres qui permettent de définir le mode de gestion approprié : le niveau de radioactivité et la période radioactive des radionucléides présents dans le déchet. Concernant le niveau de radioactivité des déchets, on distingue les déchets de :

- très faible activité (TFA) avec une activité inférieure à 100 becquerels par gramme ;
- faible activité (FA) avec une activité comprise entre quelques centaines de becquerels par gramme et un million de becquerels par gramme ;
- moyenne activité (MA) avec une activité de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme ;
- haute activité (HA) avec une activité de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme.

Concernant la période radioactive, on distingue :

- les déchets dits à vie très courte (VTC), qui contiennent des radionucléides dont la période est inférieure à 100 jours ;
- les déchets dits à vie courte (VC) dont la radioactivité provient principalement de radionucléides qui ont une période inférieure ou égale à 31 ans ;
- les déchets dits à vie longue (VL) qui contiennent une quantité importante de radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans.

Selon l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs (9), édité par l'Andra en 2020, le bilan des volumes des différentes catégories de déchets radioactifs déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra **à fin 2018** sont précisés dans le Tableau 2.1-1 ci-dessous :

Tableau 2.1-1 Bilan des volumes de déchets déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra à fin 2018 (Andra, 2020 (9))

Catégorie de déchets radioactifs	Stock total à fin 2018 en volume (m^3)	Sur sites producteurs-détenteurs	Stockés dans les centres de l'Andra	Capacité des stockages existants
HA	3 880	3 880	0*	0*
MA-VL	43 000	43 000	0*	0*
FA-VL	93 700	93 700	0*	0*
FMA-VC	945 000	82 000	862 000	1 530 000
TFA	557 000	181 000	376 000	650 000
Déchets sans filière (DSF)	1 350	1 350	-	-

Les déchets FMA-VC et TFA sont entreposés sur leur site de production pour reprise, conditionnement ou évacuation vers les centres de stockage de l'Andra.

** Ces déchets ne sont actuellement pas stockés : le stockage des déchets HA et MA-VL est actuellement en projet (Cigéo). Le stockage des déchets FA-VL est également à l'étude. Les déchets sans filière (DSF) sont destinés à intégrer une filière de gestion après éventuellement traitement ou caractérisation.*

Cette évaluation socioéconomique concernant exclusivement les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, seules ces deux catégories sont précisées ci-après :

- Les déchets de haute activité rassemblent, dans un volume réduit, la plus grande partie de la radioactivité des déchets. Ils proviennent essentiellement de l'industrie électronucléaire et des activités de recherche associées et, dans une moindre mesure, des activités liées à la défense nationale. Ils sont principalement constitués par les substances non valorisables, à savoir des résidus hautement radioactifs provenant de la dissolution chimique des combustibles usés générés par le retraitement de ce combustible après son utilisation dans un réacteur nucléaire. La plupart de ces déchets sont incorporés dans du verre puis conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable. Ces déchets dégagent de la chaleur.
- Les déchets de moyenne activité à vie longue sont principalement issus du retraitement des combustibles usés et des activités de maintenance et de fonctionnement des usines de retraitement. Il s'agit notamment des déchets de structure des assemblages de combustibles (embouts et coques), de déchets technologiques (outils usagés, équipements, etc.) et de déchets issus du traitement des effluents comme certaines boues. Ils se caractérisent par une présence significative de radionucléides à vie longue.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Contexte et stratégie nationale

2.2 La gestion des déchets radioactifs : le contexte français

En France, les principes de gestion des déchets radioactifs s'inscrivent dans un cadre réglementaire strict défini aux niveaux national et international. La France est par ailleurs signataire de la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la gestion des déchets radioactifs du 5 septembre 1997 (20) établie sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie atomique, intervenant dans le cadre de l'Organisation des nations unies (ONU).

Au niveau européen, le Conseil de l'Union européenne a adopté la directive n° 2011/70/Euratom le 19 juillet 2011 (21), établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs depuis leur production jusqu'à leur stockage. Cette directive couvre toutes les étapes de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs résultant d'activités civiles. La directive prévoit ainsi que chaque état membre établisse et maintienne un cadre prévoyant l'élaboration de programmes nationaux pour la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs, l'octroi d'autorisations, la réalisation d'inventaires, de mesures de contrôle et d'inspections, de mesures d'exécution telle que la suspension de l'exploitation, la répartition des responsabilités, l'information et la participation du public et le financement de la gestion des déchets radioactifs. Chaque état membre est responsable en dernier ressort de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs produits sur son territoire.

Au niveau national, la France a défini et mis en œuvre une politique publique en matière de gestion des déchets radioactifs dans un cadre législatif établi en 1991 (loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (22)) et complété en 2006 (loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4)) et en 2016 (loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 (2)). Ces lois sont aujourd'hui codifiées dans le code de l'environnement. Conduite par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) au sein du ministère de la Transition écologique, cette politique comporte trois piliers :

1. Un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) mis à jour tous les trois ans par l'État et fixant un programme de recherches et de réalisations (cf. l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement) ;
2. Des dispositions en matière d'évaluation indépendante des recherches, d'information du public et de dialogue avec l'ensemble des parties prenantes ;
3. La garantie de la disponibilité des financements nécessaires : en vertu de l'article L. 110-1 du code de l'environnement, selon lequel « les frais résultants des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci doivent être supportés par le pollueur ».

LE FINANCEMENT DU PROJET GLOBAL CIGÉO

Dans une logique de responsabilité, le financement des études, de la construction, du fonctionnement et de la fermeture de Cigéo est assuré dès aujourd'hui par les générations actuelles pour ne pas en reporter la charge sur les générations futures. Cela se traduit par des provisions faites par les trois producteurs de déchets concernés (EDF, le CEA et Orano) et qui sont régulièrement mises à jour.

Actuellement, les coûts de recherche et de conception du projet Cigéo sont ainsi financés par les trois opérateurs de la filière électronucléaire *via* une taxe affectée pour les recherches et le Laboratoire souterrain, et une contribution spéciale pour les études de conception des installations et les travaux préalables :

- **Le fonds recherche**, en place depuis 2007, est alimenté par la taxe dite « de recherche » qui est une taxe additionnelle à la taxe sur les installations nucléaires de base collectée auprès des exploitants de ces installations. Le produit de cette taxe, qui est fixée par loi de finances et par décret, est de l'ordre de 65 millions d'euros par an, plafonné à 55 millions d'euros par an pour 2020 et les années suivantes. Ce fonds finance la recherche et les études nécessaires à la caractérisation du stockage réversible en couche géologique profonde, le fonctionnement du

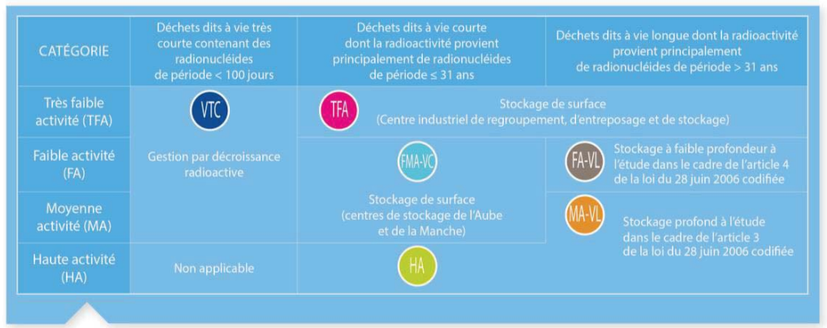
Laboratoire souterrain, les expérimentations scientifiques, ainsi que les études concernant la mémoire.

- **Le fonds conception**, créé à partir du 1er janvier 2014, est alimenté par une contribution spéciale pour assurer le financement des études de conception industrielle des installations de Cigéo, la communication et l'insertion territoriale du projet, les acquisitions foncières, le management et la gestion de projet, et des travaux d'aménagements préalables de site. Le produit de cette contribution est de l'ordre de 120 à 140 millions d'euros par an.
- **Le fonds construction,** à créer, sera destiné au financement de la construction, de l'exploitation, de la fermeture, de l'entretien et de la surveillance.

Conformément à l'article L. 542-12 du code de l'environnement, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a remis en octobre 2014 à la Ministre chargée de l'Énergie une évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. L'ASN et la Commission nationale d'évaluation (CNE2) ont rendu leur avis sur le dossier d'évaluation de l'Andra. Les principaux producteurs de déchets radioactifs (EDF, le CEA et Areva[11]) ont également émis des observations sur ce dossier. Le ministère a fixé par arrêté le coût à 25 milliards d'euros aux conditions économiques du 31 décembre 2011 sur la période 2016-2156. Ce coût sera mis à jour aux étapes clés du projet.

Le PNGMDR s'appuie sur les données de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs de l'Andra pour dresser le bilan des modes de gestion existants, recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage et déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif. Il s'appuie également sur les travaux d'un groupe de travail pluraliste, co-présidé par l'ASN et la DGEC et constitué de représentants de l'administration, des autorités de sûreté, des gestionnaires de déchets radioactifs, des producteurs de déchets et de représentants d'associations de protection de l'environnement. Les modalités de gestion (exutoires) pour les différentes catégories de déchets radioactifs sont précisées dans le tableau 2.1-1 ci-après.

Tableau 2.2-1 Modalités de gestion des différentes catégories de déchets radioactifs



Conformément à l'article L. 542-1 du code de l'environnement (1), les producteurs de déchets radioactifs sont responsables de la gestion de leurs déchets avant leur évacuation vers un exutoire définitif. En particulier, ils doivent trier et définir les modes de traitement et de conditionnement des déchets, en fonction des technologies disponibles, dans l'objectif de réduire la quantité et la nocivité des déchets radioactifs. Ils assurent l'entreposage des déchets qui n'ont pas d'exutoire définitif à ce jour.

[11] Orano à compter de janvier 2018.

L'Andra est chargée de la gestion à long terme des déchets radioactifs français. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC). L'article L. 542-12 du code de l'environnement (23) précise les missions de l'Andra qui doit, entre autres, concevoir et mettre en œuvre une solution de gestion à long terme pour les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) qui sont actuellement entreposés.

Concernant l'évaluation des choix scientifiques et technologiques, le Parlement s'appuie sur les travaux de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) créé en 1983. L'OPECST a joué un rôle majeur en amont de la loi de 1991 (Barthe, 2006 (24)). Le Parlement s'appuie également sur la Commission nationale d'évaluation (CNE) qui est chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement et la qualité des recherches sur la gestion des matières et des déchets radioactifs (cf. article L. 542-3 du code de l'environnement). La Commission nationale d'évaluation publie annuellement un rapport qui est transmis au Parlement et est rendu public et disponible sur www.cne2.fr.

LES ACTEURS INSTITUTIONNELS DE LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS EN FRANCE

- **L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)**

  Créée par la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (25), « l'ASN assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire » (26). Cette autorité est indépendante. Ses missions s'articulent autour de la réglementation, le contrôle et l'information du public. Dans le cadre du projet Cigéo, l'ASN vérifiera si ce projet se conforme aux grandes orientations décrites dans le « Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde », qu'elle a publié en 2008 (27). Elle instruira le cas échéant la demande d'autorisation de création, et si elle est obtenue, la demande d'autorisation de mise en service permettant son fonctionnement. L'ASN contrôlera alors le centre de stockage en couche géologique profonde pendant son fonctionnement comme après sa fermeture. L'ASN a déjà rendu un avis sur les options de sûreté de Cigéo en 2018, soulignant notamment sa maturité technique satisfaisante au stade du dossier d'options de sûreté (28).
- **L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)**

  Créé en 2001, l'IRSN exerce des missions d'expertise et de recherche dans les domaines de la sûreté nucléaire, de la sûreté des transports de matières radioactives et fissiles, de la protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants, de la protection et du contrôle des matières nucléaires et de la protection des installations nucléaires et des transports de matières radioactives et fissiles contre les actes de malveillance. L'institut est également chargé d'une mission d'appui technique aux autorités publiques compétentes en sûreté, notamment l'ASN. Dans le cadre du projet Cigéo, l'IRSN a également rendu son avis sur le dossier d'options de sûreté rédigé par l'Andra.
- **Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN)**

  Créé par la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (25), le HCTISN est une instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires et l'impact de ces activités sur la santé des personnes, sur l'environnement et sur la sécurité nucléaire. À ce titre, le Haut Comité peut émettre un avis sur toute question dans ces domaines ainsi que sur les contrôles et l'information qui s'y rapportent. Il peut également se saisir de toute question relative à l'accessibilité de l'information en matière de sécurité nucléaire et proposer toute mesure de nature à garantir ou à améliorer la transparence. Il travaille notamment sur le projet Cigéo.
- **La Commission nationale d'évaluation (CNE)**

  La Commission nationale d'évaluation a été créée pour évaluer annuellement l'état d'avancement des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs. L'actuelle commission, la CNE2 (29), créée par la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4), succède à la première commission, la CNE1, créée par la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (22). Pour effectuer son

travail d'évaluation, la commission procède à l'audition des organismes qui effectuent des études et recherches en matière de gestion des matières et des déchets radioactifs. La commission est indépendante ; elle publie annuellement un rapport qui est transmis au Parlement et est rendu public.

- **L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)**

  Sur les questions scientifiques de manière générale, et notamment celles relatives aux programmes nucléaires, le Parlement s'est doté d'un organisme d'évaluation propre : l'OPECST. Cet organisme auditionne les acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs et publie des rapports d'évaluation et des recommandations.

- **La Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC)**

  Plusieurs ministères interviennent dans la définition, la mise en place et le contrôle de la politique de gestion des matières et des déchets radioactifs. Au sein du ministère de la Transition écologique, la DGEC élabore la politique et met en œuvre les décisions du gouvernement relatives au secteur nucléaire civil.

  Des institutions internationales participent également aux débats et à l'évaluation du projet de stockage Cigéo, notamment l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Cette dernière a notamment rendu un avis en 2016 (30) sur le dossier d'options de sûreté de Cigéo, à la demande de l'ASN.

2.3 Le cas des déchets HA et MA-VL

La gestion des déchets HA et MA-VL vise en premier lieu à protéger l'homme et l'environnement sur le long terme. Cette gestion repose sur plusieurs principes : la sûreté, la pérennité et une surveillance passive, limitant les charges qui seront supportées par les générations futures. Cette préoccupation repose sur l'idée que les générations actuelles, qui ont tiré et tirent des bénéfices de la production d'électricité d'origine nucléaire, assument la gestion des déchets et ne transmettent pas cette responsabilité aux générations futures.

Dans le cadre de la gestion des déchets radioactifs, plusieurs opérations successives sont réalisées. Elles comprennent notamment une étape de tri, de traitement et de conditionnement, une étape d'entreposage (accueil des colis de déchets radioactifs dans une installation adaptée pendant une durée limitée) et une dernière étape de gestion à long terme. Dans le cas des déchets HA et MA-VL, la dernière étape n'est pas encore effective ; elle en est au stade de projet et fait l'objet de la présente évaluation socioéconomique.

Actuellement, ces déchets sont entreposés en toute sûreté sur différents sites en France en attente de la mise en place d'une solution définitive pour leur gestion à long terme. Ces installations d'entreposage sont soumises aux règles de sûreté de l'ASN comme toute installation nucléaire. L'entreposage, tel qu'il est conçu aujourd'hui, a donc principalement pour objectif de protéger l'homme et l'environnement de la dangerosité des déchets radioactifs à titre temporaire sur le court terme en attendant la mise en place d'une solution de gestion pérenne et de long terme. Par ailleurs, pour les déchets HA, l'entreposage permet également de gérer les dégagements de chaleur avant la mise en place d'une gestion de long terme.

La question de la gestion à long terme des déchets HA et MA-VL fait l'objet de discussions depuis plusieurs décennies en France. Avant toute chose, il convient de rappeler qu'étant donnée la durée de vie de ces déchets, le long terme fait ici référence à une échelle de temps de plusieurs centaines de milliers d'années. Cette problématique fut l'objet de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 dite loi « Bataille » (22), cette loi organisa les recherches sur la gestion à long terme des déchets de haute activité et à vie longue. Trois axes de recherche furent définis :

1. La séparation/transmutation des éléments radioactifs à vie longue (axe 1) ;
2. Le stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes (axe 2) ;
3. Les procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface (axe 3).

Cette loi prévoyait notamment la réalisation de programmes de recherche sur quinze ans afin de remettre un rapport global d'évaluation en 2006. Ces travaux furent confiés au CEA (pour les axes séparation/transmutation et entreposage de longue durée) et à l'Andra (pour l'axe sur le stockage géologique profond). Environ 2,5 milliards d'euros furent dépensés sur cette période de quinze ans.

À l'issue de cette période de recherche, les résultats des études furent remis à l'État en 2005. Suite à l'examen de ces résultats et sur la base d'un débat public, le Parlement français choisit le stockage géologique profond comme solution de gestion des déchets HA et MA-VL à travers la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (4). Les principaux points mis alors en avant lors de l'examen des résultats de la recherche peuvent être résumés comme suit :

- la séparation/transmutation n'est pas encore mature ; cette technologie vise à optimiser le volume et la dangerosité des déchets radioactifs sans apporter de solution de mise en sécurité définitive, puisqu'elle génère elle-même des déchets radioactifs ;
- l'entreposage de longue durée transfère la mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL aux générations suivantes et ne présente pas de garantie de sûreté au regard notamment des évolutions sociétales sur le long terme ;
- le stockage dans les formations géologiques profondes est la seule solution disponible de mise en sécurité définitive permettant de confiner la radioactivité et de protéger l'homme et l'environnement sur le très long terme, sans besoin d'intervention humaine.

Bien que ce soit le mode de gestion actuel, l'entreposage de longue durée a donc été écarté par la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4) pour le long terme, en raison de la nécessité de l'intervention humaine pour assurer une surveillance, reconstruire et entretenir périodiquement les installations tant que les déchets resteront dangereux. Sur des horizons de temps longs (plusieurs siècles, milliers, voire dizaines de milliers d'années), la pérennité de ces actions, du maintien d'un contrôle institutionnel ou du maintien des compétences, ne sauraient être garantis, pouvant alors potentiellement conduire à des risques d'abandon de l'entreposage et à des situations dangereuses. Étant donné l'incertitude sur l'état de la société sur un horizon aussi long, la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4) a préconisé le recours au stockage réversible en couche géologique profonde comme solution définitive de gestion des déchets HA et MA-VL.

LA RÉVERSIBILITÉ : UN PRINCIPE ASSOCIÉ AU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO

Cité par la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4)(4), la réversibilité est issue du code de l'environnement exigeant que le stockage géologique soit réalisé « *dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité* » (article L. 542-1-1).

L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement précise que « *la réversibilité est la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion.* » La réversibilité est mise en œuvre « *par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets consécutives notamment à une évolution de la politique énergétique ». La réversibilité inclut « la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée, cohérentes avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage* ».

En termes de gouvernance, le code de l'environnement fixe des objectifs pour « *garantir la participation des citoyens tout au long de la vie* » du centre de stockage Cigéo (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

En conséquence, le plan directeur pour l'exploitation du centre de stockage (PDE) sera mis à jour tous les 5 ans, « *en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public* ». Des « *revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité* » seront organisées en cohérence avec les réexamens périodiques de sûreté (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Contexte et stratégie nationale

2.4 Le choix du projet Cigéo, description et cheminement

La France a, comme explicité précédemment, choisi le stockage réversible en formation géologique profonde comme solution de long terme pour protéger l'homme et l'environnement des dangers que présentent les déchets HA et MA-VL durant toute leur durée de vie. Le choix s'est porté sur un stockage dans une couche d'argile d'au moins 120 mètres d'épaisseur, à environ 500 mètres de profondeur, âgée de 155 millions d'années, situé à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne. Durant plus de 100 ans, les déchets HA et MA-VL seront acheminés vers des alvéoles de stockage souterraines, avant le scellement définitif du stockage. Par ailleurs, durant toute la phase de fonctionnement (i.e. avant la fermeture définitive), le projet sera réversible : cela permettra de laisser aux générations qui exploiteront le stockage des choix ouverts sur la poursuite ou non de celui-ci. Ces choix seront soumis à la concertation avec les parties prenantes et avec le public tout au long de la vie du projet.

Dans le cadre de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 dite loi « Bataille » (22), l'Andra commença dès le début des années 90 les recherches sur le stockage en couche géologique profonde afin d'évaluer la faisabilité de principe du stockage (cf. Figure 2.4-1 ci-après). La première étape fut de sélectionner des sites présentant des caractéristiques géologiques *a priori* favorables et sur la base du volontariat des collectivités locales, pour implanter un laboratoire souterrain de recherche. Sur les sites initialement envisagés, seul celui issu de la fusion des candidatures de la Meuse et de la Haute-Marne fut retenu par le gouvernement. L'autorisation d'installation et de fonctionnement d'un laboratoire souterrain fut actée par décret du 3 août 1999 (31). En septembre 2000, le creusement du puits d'accès principal du laboratoire souterrain débuta. Ce laboratoire souterrain est situé à 490 mètres sous terre, au milieu de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien. Il sert dans le cadre de la recherche fondamentale à approfondir la connaissance et la caractérisation du milieu géologique et dans le cadre d'une recherche technologique et appliquée à étudier en conditions réelles le concept du stockage : comportement de la roche au creusement, à l'échauffement, interactions avec l'eau, essais de creusement (machine à attaque ponctuelle ou tunnelier), etc. En parallèle, de nombreuses études furent menées en surface afin de tester des solutions industrielles qui pourraient être utilisées pour construire, exploiter et fermer le stockage. L'ensemble des recherches aboutit aux conclusions rendues en 2005 au gouvernement, étayant la faisabilité de principe d'un stockage de déchets radioactifs dans la formation du Callovo-Oxfordien sur le site de Meuse/Haute-Marne.

À la suite de la décision de 2006 du Parlement, les études au sein du laboratoire souterrain se poursuivirent afin d'affiner le stockage. Le projet, baptisé Cigéo en 2010 (pour Centre industriel de stockage géologique), commença alors à passer dans une phase avec une finalité plus industrielle.

Au début de la **conception**, un débat public fut organisé en 2013[12] sur le projet Cigéo sur la base des études d'esquisse. Pour tenir compte des avis et attentes exprimés durant celui-ci, l'Andra apporta plusieurs évolutions au projet de centre de stockage Cigéo (intégration d'une phase industrielle pilote au démarrage de l'installation, mise en place d'un plan directeur pour le fonctionnement du stockage régulièrement révisé, implication de la société civile dans le projet, etc.).

À partir de 2014, des études d'avant-projet furent lancées. Elles visaient notamment à préciser/optimiser les processus industriels à mettre en œuvre et à définir les options pour assurer la sûreté de l'installation nucléaire, durant le fonctionnement et après la fermeture (cf. dossier d'options de sûreté de Cigéo[13] de l'Andra (32) (33) (34) (35) remis à l'ASN en 2016 et l'avis de l'ASN rendu en 2018 (28).

La Figure 2.4-1ci-après illustre l'historique du projet Cigéo à ce jour et le cheminement à venir :

[12] http://cpdp.debatpublic.fr/cpdp-cigeo/
[13] https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference#section-3144

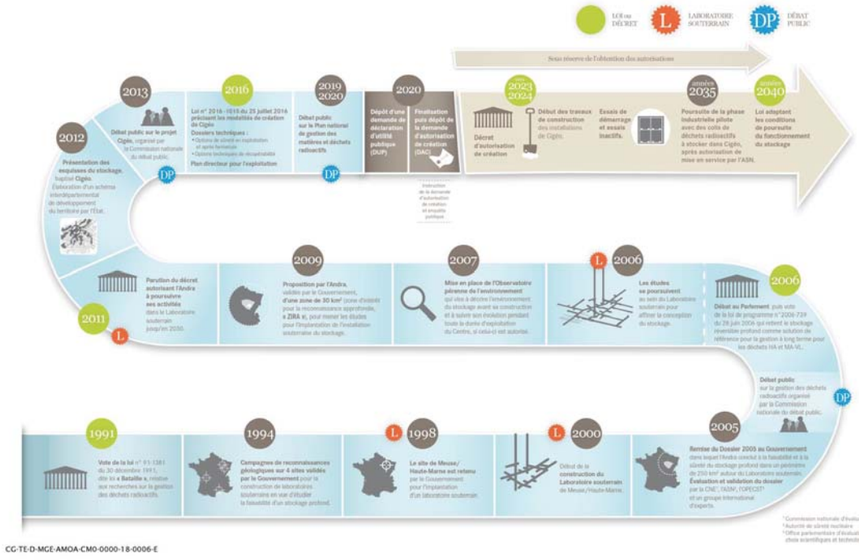


Figure 2.4-1 Historique du centre de stockage Cigéo et prochaines étapes (source Andra)

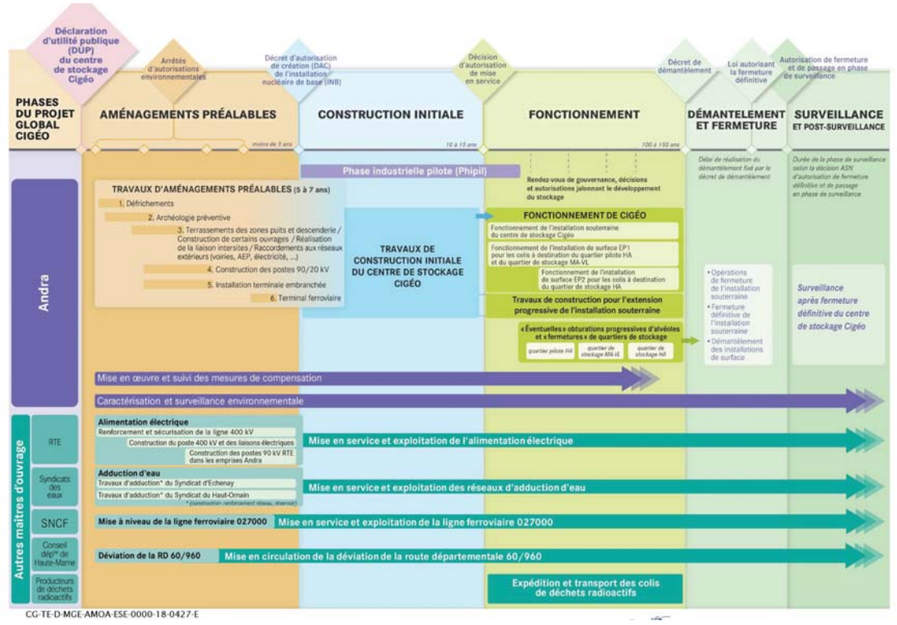


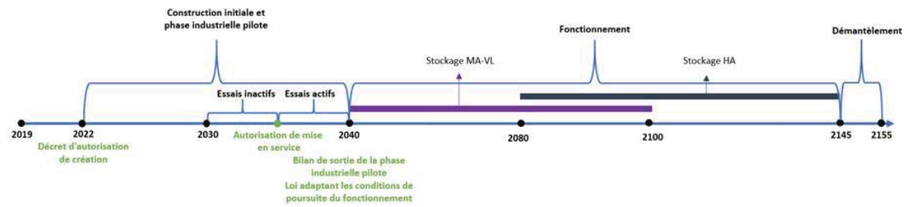
Figure 2.4-2 Les grandes phases du projet global Cigéo

À ce jour, le projet global Cigéo est au stade des premières autorisations réglementaires (cf. Figure 2.4-2 ci-avant). Le dossier de demande de déclaration d'utilité publique (DUP) est le premier dossier support à ces autorisations réglementaires.

Le dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC) viendra ensuite, sachant que l'obtention de cette dernière conditionne le début de la construction initiale du centre de stockage Cigéo.

Certains travaux, dits **travaux d'aménagements préalables,** interviennent en amont de la phase de construction initiale et se poursuivent quelques années après son démarrage, à l'obtention du décret d'autorisation de création. Ils permettent d'initier la délimitation du site, d'effectuer les premiers terrassements, ainsi que l'amenée des différentes utilités : réseaux d'eau potable, d'électricité, de télécommunications, et le raccordement aux réseaux routiers et ferroviaires.

La Figure 2.4-3 ci-après (à laquelle il sera fait à nouveau référence dans le chapitre 4.3), décrit de manière illustrative le déroulement du centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi à compter de l'obtention du décret d'autorisation de création. Il est précisé que le déroulement et les dates de cette option de projet sont nécessairement schématisés pour les besoins de l'évaluation socioéconomique.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0021-B

Figure 2.4-3 Calendrier illustratif de l'option de projet 1 : le centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra

L'obtention du décret d'autorisation de création, conditionne le démarrage des travaux de **construction initiale** du centre de stockage Cigéo. La construction initiale porte principalement sur la construction des bâtiments de surface conventionnels et nucléaires, celles des liaisons surface-fond avec les descenderies et les puits, ainsi que de quelques ouvrages souterrains permettant de recevoir des premiers colis de déchets radioactifs (zones de soutien logistique, galeries d'accès et alvéoles de stockage).

Une **phase industrielle pilote** débute lors de la construction initiale et se poursuit jusqu'à l'obtention de la mise en service et quelques années de fonctionnement. Elle comporte :

- des essais en inactif, qui excluent la manipulation de sources radioactives ou le stockage de déchets radioactifs, consistent à tester les équipements installés, étape nécessaire pour leur mise en service, et à tester des démonstrateurs technologiques en grandeur réelle ;
- des essais en actif interviennent après autorisation de mise en service du centre de stockage Cigéo par l'ASN, conditionnant la réception du premier colis de déchets radioactifs. Au cours des essais en actif, des sources radioactives sont manipulées et les premiers colis de déchets sont utilisés pour vérifier le fonctionnement du procédé en situation réelle, y compris les opérations de retrait de colis des alvéoles. Les essais en actif concernent à la fois des déchets MA-VL et certains déchets HA qui auront suffisamment refroidi (ces déchets sont dits « HA0 ») ;
- quelques années de fonctionnement qui permettent d'acquérir du retour d'expérience sur le stockage, la surveillance, la réversibilité, la sûreté, etc.

Pour les besoins de la présente évaluation socioéconomique, il est fait l'hypothèse que le volume des déchets radioactifs traités dans le cadre de la phase industrielle pilote représente environ 5 %[14] du volume total de l'inventaire de référence.

Cette phase industrielle pilote doit permettre à l'Andra de confirmer le bon fonctionnement du projet en conditions réelles et d'acquérir un retour d'expérience robuste du fonctionnement du centre de stockage et de sa surveillance. Un bilan des opérations menées est ensuite transmis à l'ASN, qui fixe en conséquence les conditions de la sortie de la phase industrielle pilote et du passage en phase de fonctionnement, après l'adoption d'une loi adaptant les conditions d'exercice de la réversibilité. La réversibilité du stockage est une demande inscrite dans la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4) qui comporte la notion d'évaluation régulière des décisions prises antérieurement et la notion de récupérabilité, selon laquelle des dispositifs techniques destinés à faciliter le retrait éventuel de colis de déchets stockés pendant le fonctionnement sont mis en place.

La phase de **fonctionnement,** conditionnée par la loi adaptant les conditions de poursuite du fonctionnement du stockage et répondant aux principes de la réversibilité, se déroule pendant une période d'une centaine d'années au cours de laquelle ont lieu simultanément des opérations nucléaires de réception des colis de déchets radioactifs, de préparation et de mise en stockage souterrain et des travaux conventionnels d'extension de l'installation souterraine, par tranches successives (appelées globalement tranches ultérieures ou TU), afin de construire progressivement l'installation selon un dimensionnement adapté à la chronique de livraison de l'inventaire de référence. Le fonctionnement est jalonné de nombreuses décisions et de rendez-vous de gouvernance, en lien avec le développement progressif du centre de stockage et avec les décisions de politique énergétique nationale (décision d'étendre le quartier MA-VL, décision d'engager le stockage des déchets HA les plus thermiques, décision de faire évoluer l'inventaire, par exemple pour stocker des combustibles usés, décision d'obturation d'alvéoles ou de quartier, etc.).

En surface, des travaux sont également entrepris pour effectuer des jouvences sur les bâtiments existants, adapter les installations par la construction d'annexes ou le remplacement d'anciens bâtiments. Le stockage des déchets MA-VL intervient dans un premier temps, entre 2040 et 2100. Le stockage des déchets HA intervient en décalé, ces déchets nécessitent de refroidir avant d'être stockés dans le centre de stockage Cigéo. Ce stockage intervient ainsi dans un second temps entre 2080 et 2145.

À la fin de la phase de fonctionnement imaginée en 2145, le centre de stockage Cigéo est refermé progressivement durant la phase de **démantèlement** des installations : les différents ouvrages creusés sont remblayés et scellés et les installations en surface sont démantelées[15]. Par ailleurs, seule une loi peut autoriser la fermeture définitive du centre.

À partir de ce démantèlement définitif, imaginé en 2155, un processus de **surveillance** passive intervient, le stockage des déchets dans Cigéo ne nécessitant plus d'actions humaines. Il est alors attendu que la couche géologique prenne le relais pour garantir sur des temps très longs le confinement des radionucléides et la protection de l'homme et de l'environnement.

[14] Calcul des auteurs sur la base des données de flux de déchets radioactifs vers le centre de stockage Cigéo (source : Programme industriel de gestion des déchets (PIGD), version E du 9 mai 2016). Le pourcentage exact est de 5,25 % du volume de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue.

[15] Des travaux de fermeture et de démantèlement interviendront avant cette date au fur et à mesure du remplissage des alvéoles. Par exemple, les quartiers MA-VL sont prévus pour être fermés vers 2100 après le stockage des déchets MA-VL. De même, certains bâtiments, ne servant qu'aux déchets MA-VL, pourront être démantelés dès 2100. Les installations communes (puits, descenderies, etc.) ne sont toutefois démantelées et fermées qu'après la fin du stockage des déchets HA.

2.5 La gestion des déchets HA et MA-VL à l'international : panorama

Treize pays ont fait l'objet d'une analyse de leurs pratiques en matière de gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Chacun de ces pays a donné lieu à la rédaction d'une fiche annexée au présent rapport (cf. Annexe 1 à Annexe 13). Ce chapitre constitue une synthèse de ces différentes fiches qui ont nourri la construction des différentes options étudiées plus avant dans la suite de l'évaluation.

Comme en France, de nombreux pays se sont engagés à partir de la seconde moitié du XXème siècle dans l'utilisation de l'atome à des fins militaires et civiles. Ces activités ont conduit à la production de différents types de déchets radioactifs dont le spectre inclut un volume (généralement faible) de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Les réflexions et la recherche afin de disposer d'une solution de gestion des déchets sûre et définitive se sont engagées de manière concomitante à la production des déchets. Ainsi, aux États-Unis d'Amérique, le rapport publié en 1957 par l'Académie des sciences « The Disposal of Radioactive Waste on Land »[16] (36), aborde la question de la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs et présente le stockage en formation géologique profonde (en particulier dans les dômes de sel) comme l'option la plus prometteuse. L'Agence internationale pour l'énergie atomique considère quant à elle que « the deep disposal in stable geological formations as the only sustainable way to safely manage high-level waste » (37).

L'analyse des politiques en matière de gestion des déchets radioactifs et des recommandations des organismes internationaux impliqués dans la gestion des déchets HA et MA-VL indique que l'option de référence retenue pour la mise en sécurité définitive de ces déchets est le stockage en couche géologique profonde. Certaines technologies comme la séparation poussée, la transmutation ou l'entreposage de longue durée sont présentées comme une alternative technique au stockage géologique.

Cependant, l'analyse plus approfondie de la séparation-transmutation montre qu'il s'agit en fait de contribuer à l'optimisation de la gestion de ces déchets[17] plutôt que d'une alternative au stockage géologique comme solution de mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL. En France, les avis de l'IRSN ou du CEA, dans le cadre du débat public organisé en 2013 sur Cigéo, appuient ce constat. Ces éléments ne remettent aucunement en cause l'intérêt d'une R&D poussée sur ces technologies qui présentent d'autres attraits. L'IRSN a présenté dans son rapport de 2019, sollicité par la Commission nationale du débat public dans le cadre du débat public relatif au Programme national de gestion des déchets et matières radioactives 2019-2021 (PNGMDR), un état des lieux, au niveau international, des recherches sur les alternatives au stockage géologique ayant été étudiées dans le temps et les raisons de l'abandon de celles-ci. Il mentionne aussi les options qui, sans être des alternatives, sont encore à l'étude (38).

Concernant l'entreposage de longue durée, au Royaume-Uni, le Nuclear decommissioning authority (NDA) indique également que « Ultimately, the implications of long-term interim storage as an alternative management step for UK HAW[18] depend on the extent to which it is implemented and the timescales over which it is applied, but will never remove the need for some form of permanent disposal of HAW, including a Geological Disposal Facility (39) ». Si les Pays-Bas se sont engagés dans une option d'entreposage de long terme (100 ans), cette option est présentée comme temporaire, dans l'attente d'un stockage géologique présenté comme option de mise en sécurité définitive. La Russie, en pointe sur le développement de réacteurs à neutrons rapides (RNR), inscrit dans sa stratégie de gestion des déchets de haute activité la nécessité d'un stockage géologique comme exutoire final pour les déchets HA. Les États-Unis d'Amérique ont réalisé d'importants travaux de recherche et de développement sur la gestion des déchets de haute activité. Si le site de Yucca Mountain (site de stockage géologique de mise

[16] Le Comité à l'origine de cette publication fût créé en 1955 dans l'objectif de développer un programme de recherche sur le stockage de déchets radioactifs en formation géologique.
[17] Les optimisations ont trait à des durées d'entreposage modulées ou à des solutions de réduction de la radio-toxicité des déchets (transmutation).
[18] Le sigle signifie United Kingdom higher activity waste.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Contexte et stratégie nationale

en sécurité définitive des déchets radioactifs) a été, du moins temporairement, abandonné, le stockage géologique reste l'option de référence, en particulier pour le Department of Energy (DOE).

En parallèle, depuis le début des années 2000, la solution de forage profond (deep borehole) est présentée comme une alternative potentielle au stockage géologique. L'abandon récent d'une expérimentation de forage profond (deep borehole) aux États-Unis d'Amérique n'est pas liée à un problème de nature technique, mais plutôt à une problématique d'acceptabilité. En Europe, l'Allemagne, le Royaume-Uni ou encore la Belgique ont également manifesté leur intérêt pour cette technologie de forage profond.

De la même façon, le retour d'expérience international sur le stockage en couche géologique profonde met certes en évidence des enjeux techniques (obligation de réversibilité ou de récupérabilité des colis, variété des conditionnements, prise en compte de l'incertitude sur le très long terme, etc.), mais les freins sont *in fine* liés à l'acceptabilité d'une telle installation (même pilote) dans un territoire. Ainsi, la difficulté de trouver un site tient au moins autant à l'enjeu de bénéficier d'un contexte géologique favorable qu'à celui d'obtenir le soutien des acteurs du territoire.

Le temps du processus d'identification d'un site : recensement, caractérisation, laboratoire souterrain, acceptabilité, est long. L'Allemagne estime que 30 années sont nécessaires depuis le lancement du projet jusqu'au démarrage du fonctionnement d'une installation de stockage géologique dans le cas où, idéalement, un site remplit l'entièreté des critères, y compris celui d'un accueil local favorable. En France, près de 30 années se seront écoulées depuis la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 dite loi « Bataille » (22) et l'obtention du décret d'autorisation de création de Cigéo envisagé pour 2025. Le processus finlandais, le plus avancé, a débuté en 2000 pour une année de démarrage du fonctionnement envisagée à 2023.

Dans leur argumentaire sur l'intérêt du stockage géologique, les acteurs en charge de la gestion des déchets HA et MA-VL évoquent l'éthique vis-à-vis des générations futures ; l'incapacité à prédire l'état de nos sociétés au-delà de quelques siècles ; l'intérêt de la mise en place d'une solution alors que les producteurs de déchets sont encore présents ; etc. Les différents pays appuient tous le mécanisme de financement/provision pour la gestion à long terme de déchets HA et MA-VL sur le principe du pollueur-payeur et constituent des provisions sur l'hypothèse d'évaluation du coût de l'installation, du retour sur intérêt des provisions et de l'actualisation.

Dans les différents pays investigués, on relève souvent l'existence d'une agence ou d'une commission indépendante ayant la responsabilité de la gestion des déchets radioactifs. Les travaux de recherche et de développement sur le stockage géologique sont coordonnés par ces agences et généralement financés par les producteurs. La définition d'une stratégie de gestion des déchets radioactifs par l'autorité compétente en la matière découle de l'implication d'un large panel d'acteurs institutionnels ou non et des producteurs. Une attention particulière est le plus souvent portée vis-à-vis de l'opinion des acteurs non institutionnels, le processus visant à identifier un site bénéficiant d'un soutien local, régional et national.

Des éléments de synthèse (technologie de référence, avancement du projet et coût) portant sur la stratégie de gestion des déchets HA et MA-VL ont été reportés dans le tableau 2.5-1

Tableau 2.5-1 Panorama international des modalités de gestion des déchets HA et MA-VL parmi 13 pays et la France

Pays	Solution de référence pour la gestion des déchets HA et MA-VL	État d'avancement du projet	Coût estimé du projet	Taille du parc électronucléaire
Allemagne	Stockage géologique pour tous les déchets radioactifs	Processus de sélection d'un site défini dans la loi StadAG de 2013 amendée en 2017. Fonctionnement à l'horizon 2050	Enveloppe de 100 milliards d'euros pour l'inventaire total des déchets radioactifs et la gestion de l'héritage (démantèlement)	17 réacteurs dont 7 en fonctionnement
Belgique	Stockage géologique	Laboratoire souterrain Hades à Mol-Dessel. Définition d'un calendrier indicatif de fonctionnement sur 100 ans	8 milliards d'euros$_{2018}$	7 réacteurs en fonctionnement
Canada	Stockage géologique	Investigation poussée sur 5 sites et sélection de 2 sites (2019). Décision du site d'implantation attendue en 2023 pour 40 ans de fonctionnement débutant à l'horizon 2040	15 milliards d'euros (pour 5,2 millions de grappes de combustible usé)	22 réacteurs dont 19 en fonctionnement
Chine	Stockage géologique	3 sites à l'étude pour la construction d'un laboratoire souterrain. Fonctionnement du stockage prévue à l'horizon 2050	Information non disponible	46 réacteurs en fonctionnement et 11 en construction
Espagne	Stockage géologique	Enclenchement du processus de sélection d'un site en 2023 pour un fonctionnement à l'horizon 2069	13 milliards d'euros pour l'ensemble de l'inventaire des déchets radioactifs et le démantèlement des installations	7 réacteurs en fonctionnement et 3 en démantèlement
États-Unis d'Amérique	Stockage géologique	Fonctionnement à l'horizon 2050	De l'ordre de 70 milliards d'euros	98 réacteurs en fonctionnement
Finlande	Stockage géologique	Travaux de construction engagés à Olkiluoto en 2016 pour un fonctionnement prévue en 2023	3,3 milliards d'euros	4 réacteurs en fonctionnement et 1 en construction
France	Stockage géologique	Site trouvé avec un laboratoire souterrain exploité et autorisé jusqu'en 2030. Processus d'autorisation initié en 2020 pour une autorisation de création vers 2024	25 milliards d'euros$_{2012}$	58 réacteurs en fonctionnement, 1 en construction et 9 en démantèlement
Japon	Stockage géologique	2 laboratoires souterrains pour la R&D. Sélection de sites d'ici à 2025 pour un fonctionnement en 2035	24 milliards d'euros	8 réacteurs en fonctionnement, 23 arrêtés définitivement, 21 en attente de redémarrage
Pays-Bas	Stockage géologique	Fonctionnement prévu en 2130	Environ 2 milliards d'euros	1 réacteur en fonctionnement, 1 réacteur mis à l'arrêt définitif
Royaume-Uni	Stockage géologique	Processus de sélection d'un site lancé en 2019.	13,1 milliards d'euros	15 réacteurs en fonctionnement, 2 en construction
Russie	Stockage géologique	Fonctionnement prévu à l'horizon 2030 à Zheleznogorsk	Information non disponible	36 réacteurs en fonctionnement et 6 en construction
Suède	Stockage géologique	Laboratoire souterrain à Aspo (Oskarshamn). Fonctionnement à l'horizon 2030	4,4 milliards d'euros	8 réacteurs en fonctionnement
Suisse	Stockage géologique pour tous les déchets radioactifs	Fonctionnement à l'horizon 2060	17,6 milliards d'euros pour l'ensemble de l'inventaire des déchets radioactifs	5 réacteurs en fonctionnement

Il apparait que le stockage géologique est la solution de référence retenue par les 13 pays étudiés pour la mise en sécurité définitive des déchets de type HA et/ou MA-VL et/ou combustibles usés. On notera que les coûts estimés de mise en place de cette solution de gestion (lorsqu'ils sont disponibles) varient de 2 milliards d'euros (Pays-Bas) à plus de 70 milliards d'euros (États-Unis d'Amérique et Allemagne). Ces coûts sont toutefois difficilement comparables : le coût dépend en effet de la quantité d'énergie nucléaire produite et du volume de déchets subséquent, de la classification des déchets, très hétérogène entre les pays, et du périmètre de coûts considéré. Il convient par ailleurs de préciser que les projets diffèrent au regard de leur avancement et que certains des chiffres avancés pourraient évoluer sensiblement dans les années à venir.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Contexte et stratégie nationale

3

Scenarii de référence et paramétrage du modèle

3.1 Les quantités de déchets radioactifs 54
3.2 Deux possibles états du monde contrastés 56
3.3 Valorisation du temps long et actualisation 68
3.4 Arbres de décision, aléas et critère de choix 84

Le scénario de référence d'une évaluation socioéconomique sert à interroger le contexte économique, social et environnemental dans lequel s'inscrit le projet. Ce contexte est défini sur la base d'hypothèses d'évolution des variables exogènes au projet, mais qui ont une influence sur la pertinence du projet. Par exemple, dans une économie très carbonée, le transport ferroviaire présente généralement un net atout environnemental par rapport au transport routier. Alors que dans une économie dont la décarbonation serait très avancée (avec un développement de transports routiers « propres »), la réalisation de nouvelles infrastructures ferroviaires présenterait un surcoût non nécessairement compensé par des gains environnementaux. Dans un autre registre, la construction d'un stade de grande ampleur n'a d'intérêt que si les projections de fréquentations sont élevées. Dans le cas contraire, il existe un risque de surdimensionnement.

Ces mêmes questionnements sont exposés pour les solutions de gestion des déchets radioactifs. Le projet est-il adapté aux variations sur le volume de déchets à gérer ? Que se passe-t-il si un conflit armé ou un acte terroriste surviennent ? Le projet permet-il alors d'éviter des risques supplémentaires ? Quid si les normes de sûreté, dont la détermination est exogène au projet, s'estompent ? Ou encore si les indices de formation des prix évoluent fortement ?

Le chapitre 3 permet de discuter de ces hypothèses concernant le dimensionnement et le contexte économique, social et environnemental. Parfois très contrastées en raison d'un horizon temporel très étendu, elles mènent à envisager plusieurs *scenarii* de référence.

3.1 Les quantités de déchets radioactifs

Parmi les éléments caractérisant le scenario de référence d'une évaluation socioéconomique, il convient de questionner ceux susceptibles d'influencer le dimensionnement de l'ouvrage et pouvant conduire à un surdimensionnement ou à un sous-dimensionnement.

Comme souligné par la Cour des Comptes (2019), « *des investissements importants – sur le parc actuel de réacteurs ou dans les installations d'entreposage des matières et déchets – doivent être réalisés au cours de la prochaine décennie. Il est nécessaire qu'ils tiennent compte des effets de rétroaction entre l'amont et l'aval du cycle* ». En effet, toute évolution de la politique nucléaire française aura un impact sur l'aval du cycle, et, *in fine* sur le volume de déchets à gérer.

Actuellement, la politique énergétique française prévoit que les combustibles soient en grande partie retraités après leur utilisation en vue de leur valorisation dans les réacteurs à eau pressurisée ou, à long terme, dans des réacteurs à neutrons rapides (RNR, comme le réacteur de Creys Malville, arrêté en 1997). Le recyclage permet ainsi de réutiliser en partie les matières radioactives et d'en dissocier les déchets ultimes, pour lesquels aucune autre utilisation n'est possible. Dès lors, en cas d'interruption de la production nucléaire ou de non renouvellement du parc, « 400 000 tonnes d'uranium appauvri et 34 000 tonnes d'uranium issu du retraitement des combustibles usés » seraient susceptibles d'être requalifiés en déchets (40).

L'Inventaire national des matières et déchets radioactifs tenu par l'Andra, et remis à jour périodiquement, permet de disposer d'une base solide de connaissances sur l'ensemble des matières et des déchets radioactifs situés sur le territoire national, y compris *de facto*, les déchets HA et MA-VL. L'inventaire de référence pour les déchets HA et MA-VL, qui désigne les déchets radioactifs produits ou à produire destinés au centre de stockage Cigéo, fournit les données d'entrée de cette évaluation socioéconomique. Il porte sur l'ensemble des déchets de haute activité et moyenne activité à vie longue déjà produits et à produire par les installations nucléaires existantes, ainsi que ceux qui seront produits par les installations nucléaires autorisées (l'outil expérimental ITER conçu pour générer l'énergie de la fusion, le réacteur pressurisé européen EPR de Flamanville, le réacteur de recherches Jules Horowitz de Cadarache), avec l'hypothèse d'une durée de fonctionnement des réacteurs de 50 ans en moyenne.

Les volumes de déchets HA et MA-VL de l'inventaire de référence utilisés pour le dimensionnement du centre de stockage Cigéo sont ainsi fixés **à terminaison**[19] aux valeurs de :

- environ 10 000 m³ pour les déchets HA (soit 56 000 colis) ;
- environ 73 000 m³ pour les déchets MA-VL (soit 167 000 colis)[20].

L'évolution de la politique énergétique ou de la politique de gestion des matières et des déchets radioactifs peut impacter sensiblement l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs tenu par l'Andra. La prise en compte de ces évolutions potentielles implique un besoin d'adaptabilité qui se traduit dans la définition d'un inventaire de réserve, dont le but est prospectif. En ce sens, il diffère de l'inventaire de référence, qui pour la politique énergétique en vigueur, précise le stock produit et à produire de déchets radioactifs, dimensionnant les installations de stockage nécessaires. Ainsi, l'inventaire de référence donne le dimensionnement du centre de stockage Cigéo, dans le cas des déchets HA et les MA-VL qui lui sont destinés selon la politique énergétique en vigueur. L'inventaire de réserve fixe quant à lui la typologie et les quantités de déchets radioactifs attachées aux différentes hypothèses prospectives envisagées.

L'inventaire de réserve étant en cours de révision au moment de cette étude, les options de gestion à long terme de celui-ci ne peuvent pas faire l'objet d'une évaluation socioéconomique à ce stade. Toutefois, lorsqu'à terme il sera défini, il sera possible d'intégrer les données d'entrées de cet inventaire de réserve à une analyse socioéconomique dédiée.

Il convient de rappeler enfin que ces inventaires de référence et de réserve ne préjugent pas des déchets qui seront *in fine* stockés dans le centre de stockage Cigéo : l'inventaire autorisé au moment de la mise en service sera fixé par le décret d'autorisation de création et donnera lieu à des autorisations successives de prise en charge, toute modification de cet inventaire étant accompagnée d'un nouveau processus d'autorisation.

En effet, l'Andra conçoit le centre de stockage Cigéo de façon à ce qu'il puisse évoluer au fur et à mesure de sa construction par phases successives pour prendre en compte d'éventuelles évolutions en matière d'inventaire des déchets stockés, liées notamment aux stratégies industrielles et énergétiques ou à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets. À ce stade, ces évolutions sont étudiées au travers d'un inventaire de réserve et d'études d'adaptabilité, qui seront présentées dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, afin de garantir la capacité du projet à évoluer et à s'adapter à des choix de politique énergétique. C'est un volet important de la réversibilité.

[19] Le terme « à terminaison » signifie à la fin du démantèlement des installations nucléaires autorisées à fin 2016.
[20] Les quantités précises fournies dans le Programme industriel de gestion des déchets (PIGD) version E du 9 mai 2016 sont : 10 045 m³ pour 55 896 colis primaires de déchets HA et 73 011 m³ pour 166 699 colis primaires de déchets MA-VL.

3.2 Deux possibles états du monde contrastés

Dans ce chapitre, le contexte économique, social et environnemental sur le temps long est envisagé selon deux possibles états du monde, volontairement contrastés. En effet, compte tenu de la temporalité étudiée, il ne peut pas être assuré que le paradigme d'une croissance continue se poursuive. Ainsi, il convient de s'interroger sur ce qu'un état du monde radicalement différent, de par son instabilité, générerait comme conséquences sur la gestion des déchets radioactifs. Les deux états du monde sont appelés scénario « OK » et scénario « KO ». Leur description qualitative est suivie de la description quantitative du paramètre principal de leur modélisation : le taux de croissance.

3.2.1 Le scénario « OK »

3.2.1.1 Description qualitative du scénario OK

Le scénario dit « OK » correspond à un prolongement sur le très long terme des tendances admises dans les prévisions macro-économiques utilisées dans les évaluations socioéconomiques, rappelées dans le guide méthodologique et fondées essentiellement sur les prévisions du Conseil d'orientation des retraites (COR) : autour de variations des taux de croissance économique assurant une croissance en moyenne toujours positive, elles sont fondées implicitement sur une société prospère, en paix, jouissant d'institutions fortes et d'un État de droit.

La force des institutions et la prospérité de la société, couplées à un progrès technologique constant, permettent un maintien, voire une augmentation, des normes de sûreté et de sécurité des installations d'entreposage et de stockage des déchets radioactifs. Cet effet est renforcé par une valeur croissante accordée à l'environnement. Par ailleurs, le fort investissement en capital humain et en R&D, semblable aux niveaux actuels, facilite le maintien des compétences, l'augmentation des connaissances et les gains de productivité.

3.2.1.2 Modélisation de croissance du scénario OK

À court et moyen termes (avant 2060), le scénario OK adopte les recommandations officielles de modélisation de scénario de référence fournies par le Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics (2013). Selon ce guide et en ce qui concerne l'évolution du PIB/tête, le complément opérationnel A1 « paramétrage macroéconomique du scénario de référence » recommande de prendre en considération :

- pour la croissance du PIB, le scénario médian-bas du COR, version 2017 ;
- pour la croissance de la population, le scénario central des projections démographiques de l'INSEE.

Les projections de PIB/tête jusqu'en 2060 sont ainsi représentées dans le graphique ci-dessous.

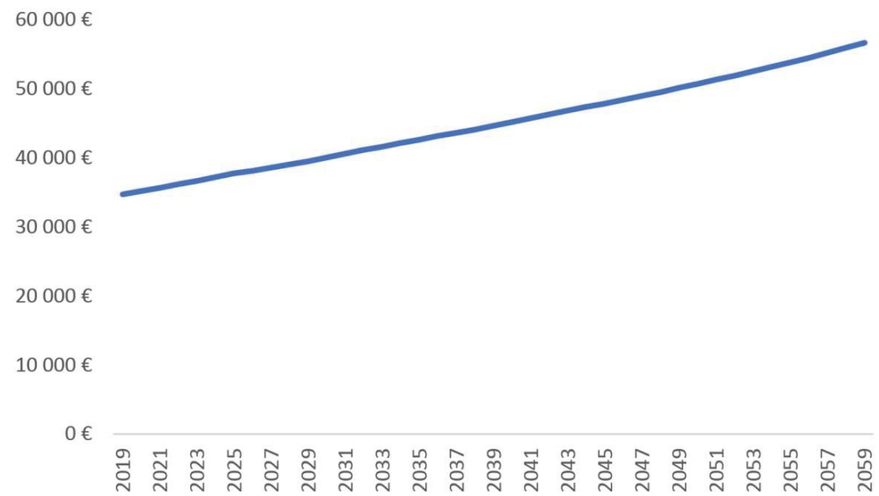


Figure 3.2-1 *Projection de l'évolution annuelle du PIB/tête en €$_{2019}$, de 2019 à 2060, selon les données COR et INSEE*

Les recommandations officielles et notamment celles du COR étant établies jusqu'en 2060 et non au-delà, elles ne couvrent pas une période aussi longue que celle abordée par cette évaluation : après cette date, il convient donc de poser des hypothèses de croissance réalistes et cohérentes avec la définition qualitative faite du scénario OK. Nous supposons ainsi qu'un taux de croissance du PIB/tête constant et égal au taux de croissance moyen des dix dernières années (2050-2060) s'applique pour le très long terme, à savoir sur la période 2060-2600.

Ainsi, nous posons l'hypothèse d'une croissance constamment égale à la croissance des 10 dernières années fournies par le COR (2050 à 2060), égal à 1,24 %.

Le graphique ci-dessous représente l'évolution du PIB/tête entre 2019 et 2600 selon cette hypothèse.

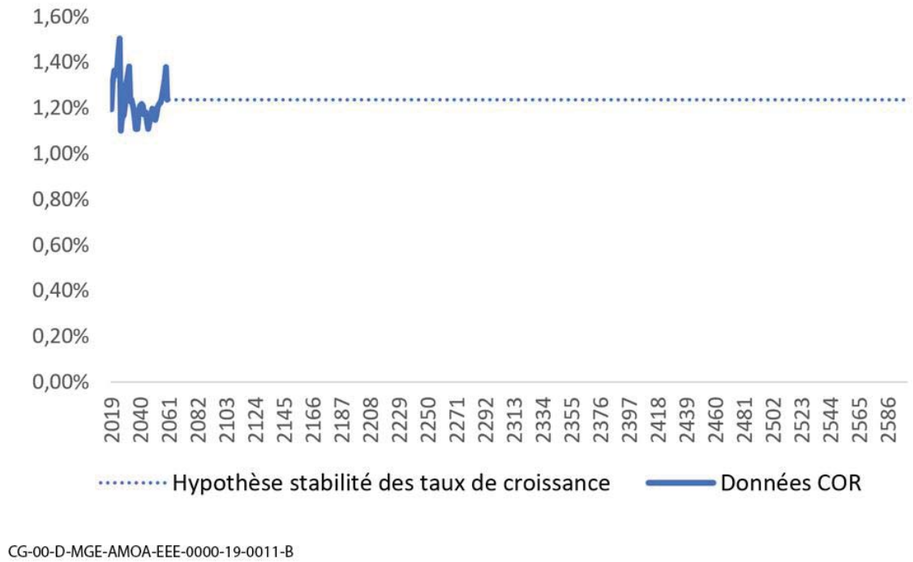


Figure 3.2-2 *Projection du taux de croissance de PIB/tête en €2019, de 2019 à 2600, données COR et calculs des auteurs*

Le maintien d'un taux de croissance positif sur environ 600 ans produit une augmentation exponentielle du PIB/tête ; celui-ci est multiplié par 30 entre 2019 et 2300, et atteint plus d'un million d'euros en 2300. En 2600, le PIB/tête atteint 40 millions d'euros.

Si l'hypothèse d'un tel niveau de richesse peut paraître déraisonnable, en première analyse, elle correspond bien aux ordres de grandeur de croissance de richesse observés par le passé. Le Maddison project database de l'Université de Groningen (41) fournit par exemple des estimations de la consommation et du taux de croissance historiques, ventilées par pays. En se basant sur ces estimations, le PIB/tête français aurait été multiplié par 23 entre le début du XVIII^{e} siècle et aujourd'hui.

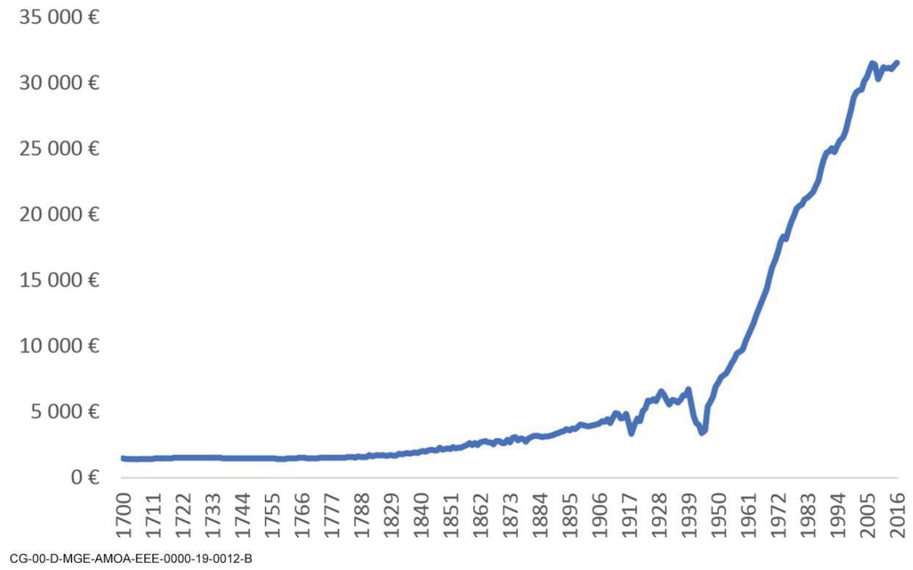


Figure 3.2-3 *Historique du niveau de PIB/tête en France en €$_{2019}$, de 1700 à 2019, données Maddison project database (41) et calculs des auteurs*

3.2.2 Le scénario « KO »

3.2.2.1 Description qualitative du scénario KO

Le scénario dit « KO » correspond à une dégradation économique progressive, mais très durable. On suppose que sous l'effet des multiples facteurs de crise qui s'amoncelleraient en progressant vers la fin du siècle, cette dégradation finirait par entraîner une régression institutionnelle.

La notion de fragilité est de plus en plus utilisée par la communauté des bailleurs de fonds pour désigner des situations dans lesquelles le manque de développement économique d'un pays et la faiblesse de ses institutions s'amplifient mutuellement. L'OCDE, entre autres, a même mis au point une méthodologie permettant de mesurer la fragilité selon cinq dimensions (sociale, politique, environnementale, économique et de sécurité), comme « une combinaison d'exposition au risque et de capacité d'adaptation insuffisante de l'État, du système et/ou des communautés à gérer, absorber ou atténuer ces risques » (OCDE (42)).

Notre compréhension de la fragilité des États a été largement façonnée par de nombreux ouvrages en science politique et en économie sur le rôle des institutions politiques dans le développement dont un bref résumé est proposé ci-après :

Les premières enquêtes sur cette question étaient entièrement centrées sur la nature prédatrice de l'État (de type monarchie ou dictature) et concluaient naturellement que seule une forte protection des biens individuels permettait un développement à long terme (Olson, 1993 (43)). La littérature sur la « nouvelle théorie de la croissance » a poursuivi cette voie (Barro, 1996 (44) ; Acemoglu, Johnson et Robinson, 2001 (45)), mais a été rapidement critiquée par les politologues pour la rudesse de son approche institutionnelle (Haggard et Tiede, 2011 (46)).

L'accent a donc été mis sur la « séparation des institutions » ces dernières années (Acemoglu et Johnson, 2005 (47)). Dans une contribution influente, Acemoglu et Robinson (2012 (48)) ont fait valoir que ce qui

importait pour le développement à long terme était la présence d'un État doté d'une large répartition du pouvoir et de capacités[21] importantes dans la société, une combinaison qu'ils qualifiaient d'« institutions politiques inclusives ». Les États fragiles, qui se caractérisent souvent par une faible capacité d'État et par l'exclusion d'une grande partie de la population des processus politiques, sont tout le contraire.

Les prescriptions pratiques à l'intention des États fragiles ont naturellement suivi, et l'accent mis sur la primauté du droit à la fin des années 1990 et au début des années 2000 a été remplacé par un double objectif de renforcement des capacités et de démocratisation.

Acemoglu, Robinson et Santos (2013 (49)) reviennent sur l'argument de séquencement avancé par Huntington (1968 (50)), selon lequel la formation d'un État doit être la première priorité pour que la démocratisation aboutisse. Ils montrent que lorsque l'État est faible (par exemple, lorsque des organisations criminelles ont été autorisées à s'établir dans certaines parties du territoire, comme dans plusieurs pays d'Amérique latine), les institutions démocratiques peuvent être perverties et l'État peut perdre de manière durable le monopole de la violence. En examinant les preuves empiriques, Mazzuca et Munck (2014 (51)) ont également tendance à rejeter l'argument de séquencement en faveur d'une vision dans laquelle les deux processus se renforcent et se nourrissent mutuellement (exposé par Carothers, 2007 (52)). Ainsi, la littérature la plus récente suggère un rapport de synergie entre développement économique, capacité de l'État et renforcement des institutions démocratiques.

Dès lors, le scénario KO de la présente évaluation socioéconomique suppose que la fragilité de la gouvernance, des institutions et des capacités ne permet pas un maintien des normes actuelles de sécurité des installations d'entreposage et de stockage des déchets radioactifs. La baisse des exigences de sûreté, couplée à de potentielles crises internes ou guerres externes, décuplent la probabilité d'un accident ou d'une attaque sur un site d'entreposage ou de stockage des déchets radioactifs. Par ailleurs, le faible investissement en capital humain et en R&D, corollaire d'une faible croissance économique, complique le maintien des compétences et les gains de productivité.

3.2.2.2 Modélisation de croissance du scénario KO

La modélisation de ce scénario s'éloigne fortement des hypothèses de croissance économique et de stabilité des institutions et de la gouvernance sur lesquelles se basent les recommandations quantitatives officielles. La littérature émergente émanant des champs de l'économie du développement et de l'économie néo-institutionnelle présentée précédemment fournit de grandes orientations.

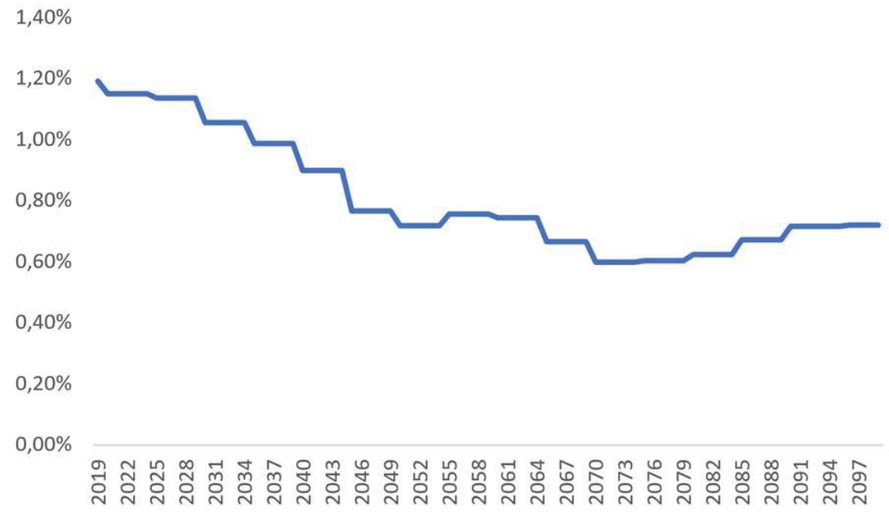
Pour formaliser quantitativement ces orientations, nous mobilisons les travaux de recherche en économie de l'environnement. Les « Shared socioeconomic pathways[22] » (SSP) proposent des estimations à long terme de plusieurs variables socioéconomiques clés (population, urbanisation, éducation, croissance économique), selon cinq *scenarii* d'états du monde.

Pour la modélisation du scénario KO, c'est le scénario « rivalité régionale » (SSP3), des « Shared socioeconomic pathways », qui est retenu. C'est le SSP le moins favorable. Ce scénario décrit un monde très fragmenté, au sein duquel l*a priori*té est donnée à la sécurité nationale, la coopération internationale est inexistante et peu (pas) d'actions sont prises en faveur d'un développement durable. La croissance économique y est lente, conséquence d'une réduction des échanges internationaux et d'un niveau faible

[21] En économie du développement, les capacités renvoient à « l'aptitude des individus, des organisations et de la collectivité dans son ensemble à gérer leurs affaires avec succès » (Comité d'aide au développement de l'OCDE). Le renforcement des capacités est un processus de changement complexe, non linéaire, dans lequel aucun facteur isolé (par exemple, l'information, l'éducation, la formation, l'assistance technique, le conseil en matière de politiques publiques, etc.) ne peut expliquer à lui seul le renforcement des capacités. Il contribue à répondre aux besoins spécifiques des pays ou régions, en couvrant les trois dimensions interdépendantes des individus, des organisations et de l'environnement porteur.

[22] À la fin des années 2000, des chercheurs de différentes disciplines et institutions ont commencé à développer des scenarios pour explorer les façons dont le monde pourrait évoluer d'ici à la fin du XXI[ème] siècle. Ces *scenarii*, par pays, se distinguent par des facteurs tels que la population, la croissance économique, l'éducation, l'urbanisation et le progrès technologique, lesquels ont des effets contrastés sur la possibilité d'atténuer le changement climatique. Les « Shared socioeconomic pathways » constituent désormais une base de travail reconnue et largement utilisée pour réaliser des projections d'envergure mondiale, comme celles du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

de R&D. La gouvernance et les institutions sont faibles, les inégalités au sein et entre les pays sont élevées, et peu d'investissements sont consentis dans le capital humain. L'évolution du taux de croissance du PIB/tête issue de ces hypothèses est décrite dans le graphique ci-après :



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0013-B

Figure 3.2-4 *Taux de croissance du PIB/tête du scénario KO de 2019 à 2100 selon les données « Shared socioeconomic pathways » (SSP3)*

Bien que le scénario SSP3 soit le moins favorable des cinq *scenarii* des « Shared socioeconomic pathways » en matière de croissance économique, on note que celle-ci reste positive : une lente dégradation économique est observable sur les cinquante premières années (décroissance quasi constante du taux de croissance, mais croissance toujours positive), tandis que les prévisions à très long terme paraissent indiquer une reprise.

Toutefois, la littérature présentée dans le précédent chapitre suggère qu'une dégradation économique progressive mais très durable, sous l'effet des multiples facteurs de crise qui s'accumulent à l'horizon de la seconde moitié du siècle, finirait par entraîner une régression institutionnelle difficile à imaginer aujourd'hui.

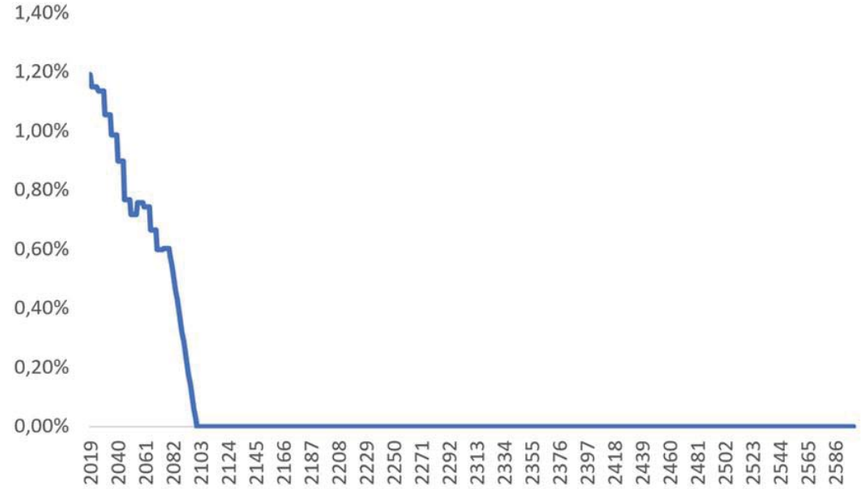
Pour en tenir compte, il apparaît nécessaire d'ajouter quelques hypothèses au SSP3, en remplaçant la reprise du PIB/tête que l'on observe dans les dernières décennies du siècle par une poursuite du ralentissement, débouchant sur une croissance (par tête) nulle tout au long du siècle prochain. Notons qu'un tel scénario n'est pas du tout modélisé quantitativement dans la littérature académique. Le parti pris dans cette modélisation peut donc paraître abrupt, mais il présente l'avantage de traduire simplement les arguments d'une littérature plutôt qualitative, que des travaux académiques quantitatifs pourraient utilement compléter dans le futur.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Scenarii de référence et paramétrage du modèle

Le scénario KO de l'évaluation socioéconomique de la solution de gestion à long terme des déchets radioactifs est réalisé en trois étapes :

- jusqu'en 2079, les taux de croissance suggérés par le SSP3 sont utilisés ;
- à partir de 2080, une réduction linéaire du taux de croissance, jusqu'à zéro en 2100, est supposée[23] ;
- à partir de 2100, le taux de croissance reste stable, en moyenne à zéro.

L'évolution du taux de croissance du PIB/tête ainsi obtenue est décrite dans le graphique ci-dessous.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0014-B

Figure 3.2-5 *Taux de croissance du PIB/tête du scénario KO de 2019 à 2600, selon les données « Shared socioeconomic pathways » (SSP3) et calculs des auteurs*

Ce scénario revient à postuler que le système actuel, qui a permis une croissance exponentielle entre la fin du XVIII[e] siècle et aujourd'hui, est arrivé à bout de souffle ; une croissance en moyenne proche de zéro, semblable à l'évolution précédant le XIX[e] siècle, redeviendrait la norme. Ceci est illustré par la figure 3.2-6 ci-après, rétroactivement depuis l'an 1280[24] jusqu'en 2019, et prospectivement jusqu'en 2600.

[23] Alors que les projections des *Shared Socioeconomic Pathways* vont jusqu'en 2100, nous les « coupons » à 2080. En effet, dans le SSP3, au-delà de 2080, les taux de croissance ont tendance à croître à nouveau, ce qui n'est pas cohérent avec le scénario KO décrit qualitativement plus haut. Un premier palier de modélisation du scénario KO est donc en 2080, et un second en 2100, qui est, schématiquement, l'année à partir de laquelle l'effritement commence à produire des effets.

[24] Il n'existe pas de données relatives à la croissance économique avant cette date.

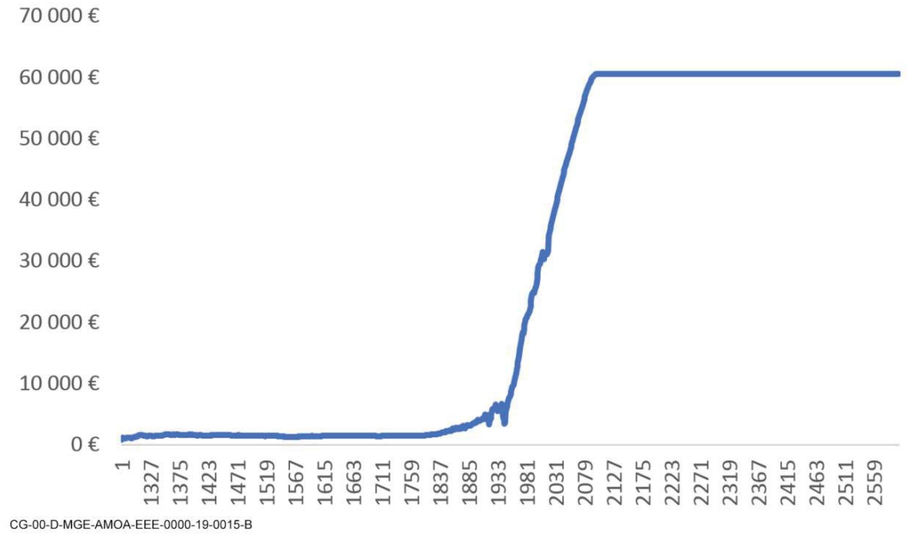


Figure 3.2-6 *Récapitulatif du niveau de PIB/tête en France en €$_{2019}$, de 1280 à 2019, selon les données Maddison project database (41), et projection jusqu'en 2600, selon les calculs des auteurs*

Rappelons qu'en scénario KO, l'affaiblissement de la croissance a pour conséquence un affaiblissement des institutions et des normes. On peut donc s'attendre post 2100, à un étiolement des normes, dont on verra qu'elles pourraient avoir, si celles-ci sont durablement fragilisées, des conséquences sur la sûreté des installations de gestion des déchets radioactifs.

3.2.3 *Scenarii* et prix relatifs

3.2.3.1 Cadre théorique des prix relatifs

Les différents *scenarii* de croissance devraient avoir des implications sur les prix des différentes composantes étudiées dans ce rapport, tels que les coûts de génie civil, les coûts de maintien des compétences et de recherche, les évolutions des coûts associés aux risques, etc.

Parmi les évolutions de prix[25], on peut imaginer qu'une partie soit dépendante du PIB, et une partie indépendante du PIB, comme les prix de composants résultant de changements technologiques.

Ces évolutions sont mal connues pour le passé, et difficiles à prévoir pour l'avenir. En outre, la littérature académique sur le sujet n'est pas très extensive, hormis à nouveau en économie du développement. Deacon (2003 (53)) montre un lien positif entre le niveau de démocratie, la force des institutions, la qualité de la gouvernance et la performance environnementale. On déduit ainsi rapidement une corrélation positive entre richesse d'une nation et intensité des normes : plus la richesse est importante, plus les normes sont contraignantes et donc les prix élevés, et *vice versa*.

D'autres prix pourraient être négativement corrélés au PIB. Par exemple, grâce au progrès technologique des sociétés en croissance, on peut réaliser des gains de productivité, qui mènent à une décroissance des prix. Toutefois, dans le secteur concerné par cette évaluation, malgré le progrès technologique, on

[25] La notion de prix est associée à un bien ou service, tandis que la notion de coût est associée à la multiplication du prix par la quantité.

fait l'hypothèse que la hausse des normes l'emporte sur le gain de productivité d'un même paramètre en scénario OK.

Même si la sévérité d'une norme n'a jamais été totalement expliquée par la croissance, l'hypothèse sera posée, dans cette évaluation d'une évolution de tous les prix positivement corrélés (dans une ampleur plus ou moins grande) à la croissance.

3.2.3.2 Évolution des prix relatifs de l'évaluation

L'évaluation socioéconomique de Cigéo et de ses options alternatives sera réalisée dans deux cadres différents : dans le cadre du scénario OK, puis dans le cadre du scénario KO. Les prix des différentes options devront donc évoluer en fonction des taux de croissance de chaque scénario. Ils évolueront également en fonction de l'élasticité des flux du projet au PIB. Cette élasticité des flux du projet au PIB est appelée bêta (β). La valeur du bêta ne dépend donc pas de la valeur du PIB, mais du fait que le projet soit ou non corrélé au PIB. Si le projet est très corrélé au PIB dans le sens où il permet de contrer les effets d'une récession (projet dit contra-cyclique), le bêta est négatif ; s'il n'est pas dépendant du PIB, le bêta est nul ; enfin si plus le PIB baisse, plus les flux du projet baissent et réduisent l'intérêt du projet (projet dit cyclique), alors le bêta est positif.

Deux grands types de flux sont concernés : les flux liés au génie civil et les flux liés à la recherche et au maintien des compétences, qui n'ont intuitivement pas la même élasticité au PIB. Les valeurs des bêtas sont quant à elles définies ci-après.

Notons que les fourchettes hautes des élasticités au PIB donnent lieu à une croissance forte et rapide du coût des biens et des connaissances. Si ces évolutions sont plausibles sur un temps court, elles ne le sont plus à moyen et long terme ; un bien dont le prix croîtrait plus vite que le PIB concentrerait à terme tous les efforts productifs, ce qui est absurde.

Par ailleurs, le maintien d'élasticités fortes sur la durée de vie du projet, couplé à des taux d'actualisation décroissants (voir chapitre ci-dessous), signifie que le taux de croissance des bénéfices est supérieur au taux d'actualisation.

Afin de remédier à ce problème, deux solutions, possiblement couplées, sont envisageables :

- réduire le taux de croissance ;
- réduire l'élasticité unitaire.

Il n'est pas apparu opportun de réduire le taux de croissance, dans la mesure où il s'agit d'un élément fondamental de distinction entre les *scenarii*. L'option de réduction de l'élasticité au PIB du génie civil et de réduction de l'élasticité au PIB de la recherche et maintien des compétences a été préférée.

Afin de modéliser cette évolution des élasticités, trois périodes ont été définies, en cohérence avec les périodes définies pour la modélisation du taux d'actualisation (voir chapitre ci-dessous) : 2019-2070, 2070-2170 et 2170 à 2600.

a) Valeurs des bêtas en scénario OK

- Valeurs des bêtas entre 2019 et 2070 :

  Pour les coûts liés au génie civil, deux facteurs sont à prendre en compte : l'effet « quantité » (par exemple, le nombre de mètres cubes de béton nécessaire à la construction du centre de stockage Cigéo) et l'effet « prix » (par exemple, le prix d'un mètre cube de béton). En utilisant pour cet exemple l'hypothèse simplificatrice que seule une quantité x de béton au prix p est nécessaire, alors le coût lié au génie civil du centre de stockage Cigéo est égal à p*x.

  Nous ne disposons pas d'indice de la productivité dans le génie civil à contenu constant, mais il ne semble pas que cette productivité soit très différente de la productivité moyenne ; cela conduit à

penser que le terme correspondant est voisin de zéro, par exemple entre -0,25 et 0,25 % par an et que cette évolution est indépendante du PIB.

Quant à l'évolution du contenu des travaux, l'expérience montre que pour un même objet les normes sont de plus en plus contraignantes et la recherche d'améliorations implique des hausses de coûts considérables des ouvrages publics, d'au moins 1 à 2 % par an (à dire d'expert). Elles correspondent à une amélioration du service rendu, et donc sont accompagnées d'une augmentation du surplus collectif ; mais il est probable qu'une part importante de ces augmentations de coûts aille au-delà de ce qui serait justifié par la maximisation du surplus collectif. Il est probable qu'une partie des hausses du coût soit liée au PIB, et qu'une autre partie soit indépendante du PIB.

Pour ne pas complexifier outre mesure l'analyse, et insérer des hypothèses de divergence artificiellement précises entre les *scenarii*, nous choisissons de ne retenir qu'une évolution liée au PIB, avec une élasticité comprise dans une fourchette large (à court terme avant 2070) :

- ✓ une hypothèse basse correspondant à une élasticité au PIB de 0,1 ;
- ✓ une hypothèse intermédiaire correspondant à une élasticité au PIB de 0,8 ;
- ✓ une hypothèse haute correspondant à une élasticité au PIB de 1,5.

Pour les coûts liés au maintien des compétences et à la recherche, on note en premier lieu que l'on raisonne à objectif fixé, par exemple, le fait de trouver une solution technologique ou un nouveau site de stockage. Un raisonnement qualitatif donne à penser que, si le PIB augmente, le nombre d'heures de recherche pour trouver un résultat donné devrait plutôt diminuer, puisqu'on s'appuiera sur davantage de ressources et de résultats de recherche obtenus par ailleurs pour mener cette recherche, d'où une élasticité de la « quantité » de recherche nécessaire pour atteindre l'objectif fixé par rapport au PIB ; il parait raisonnable de penser que cette élasticité est faiblement négative ; on peut prendre une fourchette de l'ordre de -0,5 (quand le PIB augmente de 10 %, la quantité de recherche nécessaire diminue de 5 %) à 0 (la quantité de recherche est indépendante du PIB). Par ailleurs, si le nombre d'heures de recherche diminue ou augmente peu, le coût d'une heure de recherche devrait augmenter, correspondant à l'augmentation du salaire de chercheur à prix constants, avec une élasticité de, disons un peu moins que 1 et d'environ 0,7, au PIB : lorsque le PIB augmente de 3 %, le salaire des chercheurs augmente de 2 %.

Ceci devrait conduire à penser que l'élasticité de ce coût de la recherche est située entre 0,2 et 0,7, arrondi à la fourchette [0 ;1]. Ainsi, nous mobilisons, comme pour le génie civil, trois hypothèses d'élasticité au PIB des coûts liés au maintien des compétences et à la recherche (jusqu'en 2070) :

- ✓ une hypothèse basse correspondant à une élasticité au PIB de 0 ;
- ✓ une hypothèse intermédiaire correspondant à une élasticité au PIB de 0,5 ;
- ✓ une hypothèse haute correspondant à une élasticité au PIB de 1.

- Entre 2070 et 2170 :

Ainsi, les hypothèses suivantes sont retenues pour les **coûts liés au génie civil** à moyen terme (entre 2070 et 2170) :

- ✓ une hypothèse basse maintenant l'élasticité au PIB à 0,1 ;
- ✓ une hypothèse intermédiaire correspondant à une baisse linéaire de l'élasticité au PIB jusqu'à 0,2 ;
- ✓ une hypothèse haute correspondant à une baisse de l'élasticité au PIB jusqu'à 0,3.

Pour les **dépenses liées au maintien des compétences et à la recherche**, les hypothèses suivantes d'évolution des prix à moyen terme (entre 2070 et 2170) sont posées :

- ✓ une hypothèse basse qui maintient l'élasticité au PIB nulle ;
- ✓ une hypothèse intermédiaire correspondant à une élasticité au PIB de 0,05 ;
- ✓ une hypothèse haute correspondant à une élasticité au PIB de 0,1.

- Après 2170

Après 2170, on considère que les élasticités au PIB sont constantes et basses, notamment en raison de la réduction de la sévérisation des normes ; sans plus d'information sur leur évolution possible, nous posons ainsi une hypothèse de stabilité par rapport aux hypothèses prises sur la période antérieure (entre 2070 et 2170).

b) Valeurs des bêtas en scénario KO

Dans le scénario KO, les valeurs à court et long terme des bêtas sont identiques à celles du scénario OK, mais leur évolution diffère. En effet, la réduction linéaire entre valeur à court terme et long terme est enclenchée dès 2019 dans le scénario KO, tout comme la réduction du taux de croissance de ce scénario, et du taux d'actualisation (voir chapitre ci-dessous). Cette réduction du bêta reflète ainsi le délitement progressif de la société jusqu'en 2100, hypothèse de construction qualitative et quantitative de ce scénario.

Nous obtenons ainsi les évolutions suivantes :

- Pour le génie civil :
  - ✓ une hypothèse haute de 1,5 en 2019, réduite linéairement à 0,3 entre 2020 et 2099, et stable à 0,3 à partir de 2100 ;
  - ✓ une hypothèse basse de 0,1, stable sur la durée de l'étude ;
  - ✓ une hypothèse intermédiaire de 0,8 en 2019, réduite linéairement à 0,2 entre 2020 et 2099, et stable à 0,2 à partir de 2100.
- Pour le maintien des compétences et la recherche :
  - ✓ une hypothèse haute de 1 en 2019, réduite linéairement à 0,1 entre 2020 et 2099, et stable à 0,1 à partir de 2100 ;
  - ✓ une hypothèse basse de 0, stable sur la durée de l'étude ;
  - ✓ une hypothèse intermédiaire de 0,5 en 2019, réduite linéairement à 0,05 entre 2020 et 2099, et sable à 0,05 à partir de 2100.

c) Résumé des valeurs des bêtas

Le tableau ci-dessous résume les valeurs prises par les bêtas en scénario OK

Tableau 3.2-1 Résumé des valeurs des bêtas socioéconomiques en scénario OK

Type de flux	Période	Valeur basse	Valeur intermédiaire	Valeur haute
Flux liés au génie civil	De 2019 à 2070	0,1	0,8	1,5
	Entre 2070 et 2170	0,1	Baisse linéaire jusqu'à 0,2	Baisse linéaire jusqu'à 0,3
	Après 2170	0,1	0,2	0,3
Flux liés à la recherche et au maintien des compétences	De 2019 à 2070	0	0,5	1
	Entre 2070 et 2170	0	Baisse linéaire jusqu'à 0,05	Baisse linéaire jusqu'à 0,1
	Après 2170	0	0,05	0,1

Le tableau ci-dessous résume les valeurs prises par les bêtas en scénario KO

Tableau 3.2-2 Résumé des valeurs des bêtas socioéconomiques en scénario KO

Type de flux	Période	Valeur basse	Valeur intermédiaire	Valeur haute
Flux liés au génie civil	De 2019 à 2100	0,1	Décroissance linéaire de 0,8 à 0,2	Décroissance linéaire de 1,5 à 0,3
	Après 2100	0,1	0,2	0,3
Flux liés à la recherche et au maintien des compétences	De 2019 à 2100	0	Décroissance linéaire de 0,5 à 0,05	Décroissance linéaire de 1 à 0,1
	Après 2100	0	0,05	0,1

d) Calcul du coefficient de prix relatif

Sur la base des taux de croissance définis dans le chapitre 3.2 et des bêtas définis ci-avant, un coefficient de prix relatif est estimé afin d'appliquer l'évolution des prix relatifs aux coûts bruts.

- Pour l'année 2019, le coefficient est estimé par la formule :

  Coefficient d'évolution des prix relatifs$_{2019}$ = 100 %*(1+ taux de croissance) ^β

- Pour les années suivantes, le coefficient est estimé par la formule :

  Coefficient d'évolution des prix relatifs$_{n}$ = coefficient d'évolution des prix relatifs$_{n-1}$*(1+ taux de croissance) ^β

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Scenarii de référence et paramétrage du modèle

3.3 Valorisation du temps long et actualisation

Comme présenté succinctement dans le chapitre 1 relatif à la méthodologie de l'évaluation socioéconomique, le système d'actualisation permet de ramener à une même date des flux monétaires intervenant à des années différentes, et donc de faire l'arbitrage entre le présent et le futur :

- un taux élevé donne un faible poids aux coûts et aux bénéfices intervenant dans le futur ;
- un taux faible attribue un poids élevé aux coûts et aux bénéfices intervenant dans le futur.

Le choix du système d'actualisation est important. Une définition plus détaillée des composantes du taux d'actualisation fait l'objet du chapitre 3.3.1, tandis que le chapitre 3.3.2 du présent document, étaye les choix réalisés pour les taux retenus. Par ailleurs, les fondements théoriques du taux d'actualisation sont détaillés en annexe 14.

3.3.1 Actualisation : définition et discussion

Le taux d'actualisation socioéconomique est composé de deux termes : le taux sans risque et la prime de risque, qui seront définis dans les chapitres ci-après. Il répond à la formule suivante :

Taux d'actualisation = taux sans risque + prime de risque

Notons qu'il existe une distinction entre la notion de taux d'actualisation économique présentée dans le chapitre « Calcul du coefficient de prix relatif » du présent document, et la notion de taux d'actualisation comptable. Le taux d'actualisation comptable est encadré par des normes comptables et son utilisation est prévue par la loi, notamment dans le cadre du calcul des provisions pour le démantèlement des centrales nucléaires et la gestion des déchets radioactifs, dans lequel le projet global Cigéo s'inscrit. Ces deux notions, et les chiffres résultants des calculs associés peuvent donc diverger.

3.3.1.1 Le taux sans risque

Le taux d'actualisation dit « sans risque » est indépendant du projet. En suivant la formule de Ramsey, il est noté :

$$r_f = \gamma\mu + \delta$$

Le taux d'actualisation sans risque (r_f) permet ainsi de refléter :

- **Le taux de préférence pure pour le présent** (δ) : cela représente le fait qu'une utilité immédiate est en général préférée à la même utilité, toute chose égale par ailleurs, dans le futur. Il s'agit donc d'un taux qui reflète l'impatience des agents économiques, ainsi que leur « probabilité de mourir ».

  Ainsi, plus grande est la préférence pour le présent, plus élevé doit être le taux d'actualisation.
- **L' » effet richesse »** ($\gamma\mu$), composé de deux paramètres : les anticipations portant sur la croissance économique et l'élasticité marginale de la consommation. L'effet richesse reflète le comportement procyclique du taux d'intérêt observé sur les marchés financiers.

  Ainsi, plus on anticipe une croissance forte, plus le taux d'actualisation est élevé. En effet, avec une croissance forte, les générations futures auront les moyens de faire face à des coûts futurs élevés.
- **L' « effet de précaution »** est pris en compte dans la règle de Ramsey étendue. Il reflète notre volonté d'épargner (investir) lorsque notre futur est incertain, plutôt que de consommer aujourd'hui ; il aura donc tendance à diminuer le taux d'actualisation.

  Ainsi, plus incertaine est la croissance, plus le taux d'actualisation est faible.

Pour résumer, plus le décideur est patient, pessimiste et incertain sur la croissance future, plus il convient de retenir un taux d'actualisation faible.

Les valeurs de ces différents paramètres ne font pas l'unanimité et sont régulièrement discutées et mises à jour. Par exemple, en France, le rapport Lebègue (Baumstark, Hirtzman, Lebègue, 2005 (54)) propose un taux de préférence pur pour le présent (delta) $\delta = 1\,\%$, tandis que Stern (2007 (17)) note que, si le projet porte sur plusieurs générations, l'utilisation de $\delta > 0$ ne peut être justifiée que pour incorporer le risque de disparition de l'humanité[26]. Gollier (2016 (55)) propose de fixer $\delta = 0$.

Ainsi, si le taux de préférence pure pour le présent δ est supposé nul, le taux d'actualisation est donc déterminé par deux effets contradictoires : un « effet richesse », qui aura tendance à augmenter le taux d'actualisation ; un « effet de précaution », qui aura tendance à le diminuer.

Gollier (2016 (55)) propose, pour la France, de retenir un taux sans risque de 2,5 % à 3 %. Ce taux, équivalant à moins du double de la croissance anticipée de la consommation (afin de tenir compte de l'effet de précaution et de la non-normalité de la distribution des taux de croissance) devrait être utilisé à moins de 20 ans, et devrait ensuite décroitre vers 1 % pour les flux les plus lointains (au-delà de 100 ans).

Le rapport Quinet (2013 (11)), dont est issu le guide méthodologique sur l'évaluation socioéconomique des investissements publics, propose une valeur du taux sans risque de 2,5 % jusqu'en 2070, et de 1,5 % pour les années suivantes. Comme nous le verrons dans le chapitre sur l'application du taux d'actualisation, nous partons du taux d'actualisation recommandé par Quinet et en proposons un ajustement, dans une borne basse et dans une borne intermédiaire.

3.3.1.2 La prime de risque

La prime de risque est le produit de deux termes : la corrélation entre les flux du projet et l'évolution du PIB (bêta socioéconomique) et la volatilité macroéconomique (phi) ; on réserve parfois l'appellation de prime de risque au paramètre phi.

Le coefficient β, appelé « bêta socioéconomique », a déjà été défini dans le chapitre 3.2.3 du présent document, c'est l'élasticité au PIB des coûts et bénéfices du projet. Sa valeur ne dépend pas de la valeur du PIB, mais du fait que le projet soit ou non corrélé au PIB. Si le projet est très corrélé au PIB avec une corrélation négative - le bêta est négatif – alors le projet permet de contrer les effets d'une récession (projet contra-cyclique) ; s'il n'est pas dépendant du PIB, le bêta est nul ; enfin si le bêta est positif alors les effets du projet sont amplifiés par les mouvements du PIB : par exemple, si le PIB augmente, l'actualisation des flux du projets conduit à réduire en valeur absolue les coûts (ou bénéfices) par rapport à une situation où le béta du projet serait plus faible. De ce fait, les coûts et bénéfices de long terme sont écrasés. Cet effet est contrecarré par le fait qu'au numérateur de la VAN, la présence d'un bêta positif augmente (mais en général à un moindre degré) l'espérance du coût ou du bénéfice.

Le coefficient φ (phi) (avec $\varphi = \gamma\sigma^2$ dans le modèle de Ramsey) combine l'aversion au risque γ (gamma), et la volatilité macroéconomique du PIB σ^2 (sigma²). Il exprime la sensibilité au risque de la collectivité nationale.

3.3.1.3 Le taux d'actualisation

Mathématiquement, le taux d'actualisation s'exprime de la façon suivante :

$$r = r_f + \beta\varphi$$

Où r_f est le taux sans risque et $\beta\varphi$ est la prime de risque. On comprend alors que :

[26] Stern (2007 (17)) utilise par exemple $\delta = 0{,}1\,\%$, correspondant selon lui à la probabilité de disparition de l'humanité dans les 12 prochains mois.

- si aucune volatilité macroéconomique n'existe (peu réaliste, ou dans le cas où la société tend vers un comportement neutre au risque), φ est égal à (tend vers) 0, et le système d'actualisation est égal au (tend vers le) taux sans risque ;
- si aucune corrélation entre le projet et le risque macroéconomique n'existe, β = 0 et le système d'actualisation est de nouveau égal au taux sans risque ;
- si la corrélation entre le projet et le risque économique est parfaite, β = 1 (respectivement β = -1) ; les bénéfices du projet baissent (respectivement, augmentent) de 1 % dès que le PIB baisse de 1 % ;

Ainsi, un projet contra-cyclique se verra attribuer une prime sous forme d'une minoration du taux d'actualisation, soit donc une valorisation plus haute des coûts ou bénéfices futurs, là où un projet positivement corrélé à l'évolution du PIB se verra minorer ses coûts ou ses bénéfices futurs, par le biais d'une majoration du taux d'actualisation.

Le rapport Quinet (2013 (11)) reprend les conclusions principales du rapport Gollier (2011 (56)) et soutient le besoin d'intégrer une prime de risque systémique. La prime de risque y est fixée à 2 % jusqu'en 2070, puis à 3 % au-delà. Comme pour le taux sans risque, nous prenons le parti, dans cette évaluation socioéconomique, de proposer une borne haute, une borne basse et une borne intermédiaire de la prime de risque, afin de tenir compte des spécificités temporelles de la gestion des déchets radioactifs et de l'incertitude relative à sa corrélation au risque macroéconomique.

3.3.2 Choix des taux d'actualisation utilisés au sein des *scenarii* de référence de l'évaluation

L'estimation exacte de taux d'actualisation, se basant sur des données d'entrées précises, pour les *scenarii* OK et KO est hors du champ de cette étude ; par ailleurs, la crédibilité de données portant sur la croissance et la volatilité de l'économie française aux horizons envisagés serait discutable.

Toutefois, nous pouvons nous appuyer sur (i) les informations issues des *scenarii* modélisés et (ii) le cadre théorique exposé ci-dessus afin d'approximer, et fournir des intervalles de confiance, pour chacun de ces *scenarii*.

3.3.2.1 Scénario OK

Pour rappel, le scénario OK correspond à une application des recommandations officielles jusqu'en 2060, soit les prévisions du taux de croissance du PIB/habitant telles que fournies par le COR. Au-delà de cette date, il n'existe pas de données officielles sur lesquelles bâtir ce scénario. Ainsi, pour la période 2060-2600, nous posons l'hypothèse d'une croissance constamment égale à la croissance des 10 dernières années fournies par le COR (2050 à 2060), égal à 1,24 %.

a. Le taux sans risque à court-terme (jusqu'en 2070)

Le rapport Quinet (2013 (11)), propose un taux sans risque compris entre 2,5 % et 3 % jusqu'en 2070. Ce rapport considère l'existence d'une préférence pour le présent (taux de préférence pure pour le présent différent de zéro, positif). Concernant les taux de croissance du PIB/tête, le rapport Quinet se base sur les projections du COR, comprises entre 1,2 % à 2,3 % sur la période 2010 à 2030, ainsi que sur les projections de l'OCDE, comprises entre 1,6 % (2011-2030) et 1,3 % (2011-2060). Gollier (2016 (55)), en se basant sur des taux historiques de croissance de 1,75 % et de volatilité de 1,57 %, propose également un taux sans risque autour de 2,5 % à 3 %.

Pour ce scénario OK, nous nous basons sur les recommandations officielles et retenons un taux sans risque de 2,5 % sur le court terme, tel que défini par le rapport Quinet (jusqu'en 2070). Toutefois, depuis la date de fixation de ces valeurs, les taux d'intérêt financiers sans risque, qui sont une référence pour les taux d'actualisation socioéconomiques sans risque, n'ont cessé de baisser, au point de devenir négatifs ; parallèlement les taux de croissance de l'économie, qui commandent l'effet richesse dans la formule de Ramsey, se sont réduits. Ceci conduit à envisager une variante à

taux plus faible, par exemple 2 % de taux sans risque pour la borne basse en scénario OK. Un taux sans risque intermédiaire est également proposé ; celui-ci est simplement égal à la moyenne des taux élevés et faibles, soit 2,25 %.

b. Le taux sans risque après 2070

Le rapport Quinet (2013 (11)) propose de fixer une année de bascule à 2070 ; le taux sans risque connaît en 2071 une rupture relativement brutale, et chute à 1,5 %. Aucune recommandation n'est fournie pour l'évolution du taux sans risque après cette période.

En nous appuyant sur la littérature existante, on note que différentes considérations militent pour une baisse continue du taux d'actualisation à long et très long terme. Elles peuvent résulter d'abord, dans le cadre de la formule de Ramsey, d'une baisse du taux de croissance de l'économie, donc d'une réduction de l'effet richesse ; actuellement on assiste effectivement à une réduction des taux de croissance par rapport à ce qu'ils étaient il y a une ou plusieurs décennies. L'autre raison, plus générale, tient à l'incertitude sur le futur. Cet argument, présenté sous forme simple dans le rapport Lebègue (2005 (54)), a été développé par de nombreux auteurs (Weitzman, Gollier, Freeman, Groom, etc.) et est synthétisé dans Arrow and *alii* (2014 (57)). Il a été adopté par plusieurs pays, en particulier le Royaume-Uni et la France.

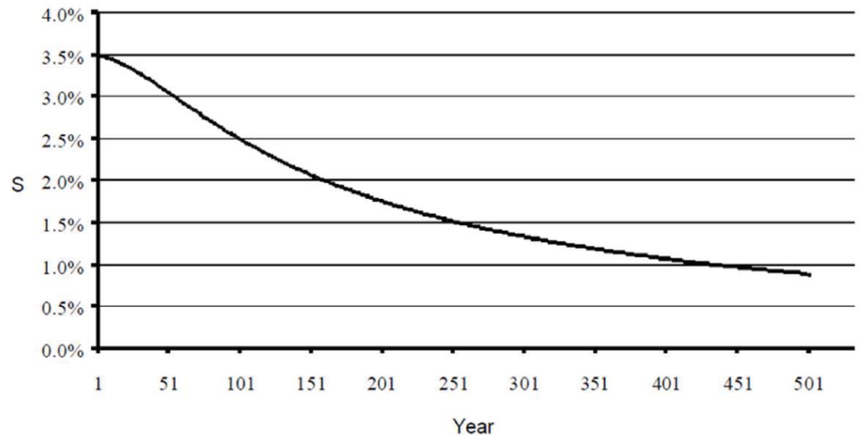


Figure 3.3-1 Courbe du taux de préférence pour le présent

Dans cette littérature, on remarque que les taux baissent de 1 point tous les 100 ans, dans les formulations du rapport Lebègue (2005 (54)), dans « The green book » (2018 (58)) ainsi que dans le rapport Oxera (2002 (59)) ; et de 2 points dans les calculs réalisés à partir des prévisions présentées par Christensen and *alii* (2018 (60)).

Nous retenons ainsi, pour la borne haute, un taux sans risque de 2,5 % jusqu'en 2070, tel que recommandé par le rapport Quinet. Puis, nous faisons évoluer ce taux linéairement vers 1,5 % en 2170 (réduction linéaire de 1 point de pourcentage sur 100 ans), puis vers 1 % en 2270 et stable au-delà. Cette borne représentant l'estimation haute, il est paru opportun de ne pas réduire le taux à moins de 1 (notamment pour refléter une possible préférence pour le présent) (59).

Pour la borne basse, un raisonnement similaire est appliqué : un taux sans risque de 2 % jusqu'en 2070, réduit linéairement vers 0,1 % en 2170 (soit la borne haute du rythme de décroissance de 2 points sur les 100 premières années). Le taux sans risque reste stable à 0,1 % jusqu'à la fin de la période d'évaluation.

Outre les bornes haute et basse du taux sans risque, nous modélisons également un taux sans risque intermédiaire. Comme pour les bornes haute et basse, le taux est constant jusqu'en 2070. Ici il

s'élève à 2,25 %. Puis, il baisse linéairement vers 1 % entre 2070 et 2170, puis vers 0,5 % entre 2170 et 2270, et il est stable au-delà.

Ce taux sans risque intermédiaire - répond à deux objectifs :

- ✓ modéliser un rythme de décroissance du taux sans risque sur le long terme plus faible que la borne basse, similaire à celui formulé par les rapports Lebègue (54) et Oxera (59) ainsi que par « The green book » (58) ;
- ✓ tester la sensibilité des résultats à un taux situé entre les bornes « haute » et « basse », qui représentent des choix de modélisation très prononcés.

Le tableau suivant résume les choix de taux sans risque, en bornes haute, basse, et intermédiaire pour le scénario OK, aux différentes périodes considérées :

Tableau 3.3-1 Taux sans risque, dans le scénario OK

Taux sans risque	Jusqu'en 2070	En 2170[27]	À partir de 2270
Taux sans risque haut	2,5 %	1,5 %	1,0 %
Taux sans risque intermédiaire	2,25 %	1,0 %	0,5 %
Taux sans risque bas	2,0 %	0,1 %	0,1 %

c. La prime de risque

Pour rappel, la prime de risque est définie comme le produit :

$$\beta\varphi$$

Où β est l'élasticité des flux annuels du projet par rapport au PIB par tête, et φ l'aversion de la collectivité pour le risque.

Le rapport Quinet recommande $\varphi = 2$ jusqu'en 2070, suivie par $\varphi = 3$. A dires d'experts, les prochaines révisions de φ seraient à la baisse.

Ainsi, nous mobilisons :

- ✓ en borne haute les recommandations du rapport Quinet : $\varphi = 2$ jusqu'en 2070, il augmente linéairement jusqu'à 3 en 2170, puis nous le considérons stable au-delà. ;
- ✓ pour la borne basse, nous mobilisons $\varphi = 1$ jusqu'en 2070, puis il augmente linéairement jusqu'à $\varphi = 2$ en 2170, puis il est stable au-delà ;
- ✓ pour la borne intermédiaire, la moyenne des deux valeurs, soit $\varphi = 1{,}5$ jusqu'en 2070, puis augmentation linéaire jusqu'à $\varphi = 2{,}5$ en 2170, puis il est stable au-delà.

Les β quant à eux, ont été définis dans le chapitre 3.2.3.2 du présent document sur l'évolution des prix relatifs (élasticité des prix au PIB).

Pour rappel, les valeurs suivantes ont été retenues en scénario OK :

- ✓ pour les flux liés au génie civil :

  De 2019 à 2070 :

  - une hypothèse haute correspondant à une élasticité au PIB de 1,5 ;
  - une hypothèse intermédiaire correspondant à une élasticité au PIB de 0,8 ;
  - une hypothèse basse correspondant à une élasticité au PIB de 0,1.

  Entre 2070 et 2170 :

[27] Le taux est stable jusqu'en 2070 ; puis entre 2070 et 2170, il décroit linéairement pour atteindre 1,5 % en borne haute en 2170: puis il décroit à nouveau linéairement jusqu'en 2270 pour atteindre 1 %, année à partir de laquelle ce taux sans risque est stable.

- une hypothèse haute correspondant à une décroissance linéaire de l'élasticité au PIB vers 0,3 en 2170 ;
- une hypothèse intermédiaire correspondant à une décroissance linéaire de l'élasticité au PIB vers 0,2 en 2170 ;
- une hypothèse basse correspondant à une élasticité au PIB maintenue à 0,1.
- À partir de 2170, les bêtas des flux liés au génie civil sont stables (0,3 ; 0,2 et 0,1 correspondant respectivement à l'hypothèse haute, intermédiaire et basse).

✓ pour les dépenses liées au maintien des compétences et à la recherche :

De 2019 à 2070 :

- une hypothèse haute correspondant à une élasticité au PIB de 1 ;
- une hypothèse intermédiaire correspondant à une élasticité au PIB de 0,5 ;
- une hypothèse basse correspondant à une élasticité au PIB de 0.

Entre 2070 et 2170

- une hypothèse haute correspondant à une baisse linéaire de l'élasticité au PIB qui tend vers 0,1 en 2170 ;
- une hypothèse intermédiaire correspondant à une baisse linéaire de l'élasticité au PIB qui tend vers 0,05 en 2170 ;
- une hypothèse basse correspondant à une élasticité au PIB maintenue à 0.

A partir de 2170, les bêtas des flux liés à la recherche et au maintien des compétences sont stables (0,1 ; 0,05 et 0 correspondant respectivement à l'hypothèse haute, intermédiaire et basse).

d. Résumé des taux d'actualisation retenus en scénario OK

Nous proposons ainsi de retenir une fourchette relativement large des taux d'actualisation possibles, représentés dans le tableau suivant :

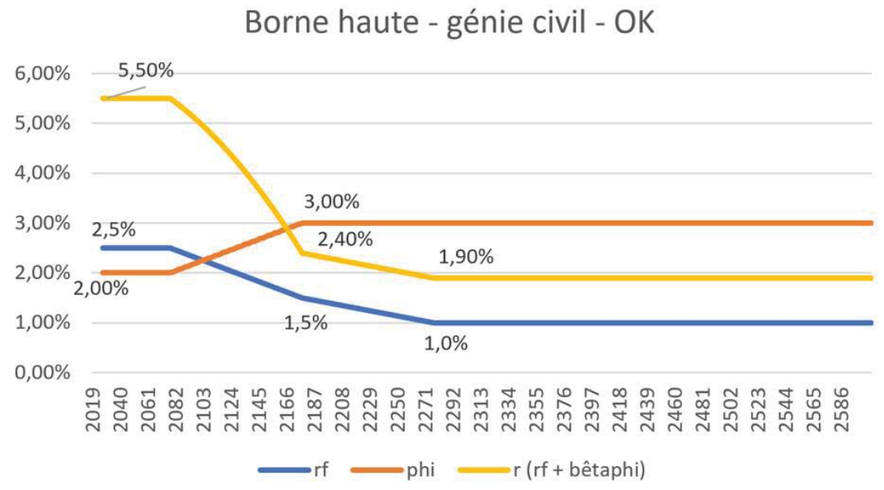
Tableau 3.3-2 Les taux d'actualisation en scénario OK

Composante du taux d'actualisation	Jusqu'en 2070	En 2170	À partir de 2270
Taux sans risque haut	2,5 %	1,5 %	1,0 %
Phi haut	2,0 %	3,0 %	3,0 %
Bêta haut – flux de génie civil	1,5	0,3	0,3
Bêta haut – flux de recherche et maintien des compétences	1,0	0,1	0,1
Taux d'actualisation haut - flux de génie civil	**5,5 %[28]**	**2,4 %**	**1,9 %**
Taux d'actualisation haut - flux recherche et maintien des compétences	**4,5 %**	**1,8 %**	**1,3 %**
Taux sans risque intermédiaire	2,25 %	1,0 %	0,5 %
Phi intermédiaire	1,5 %	2,5 %	2,5 %

[28] Le taux d'actualisation total de 5,5 % est le résultat du taux sans risque (2,5 %), auquel on ajoute le produit du phi (2 %) par le bêta du génie civil (1,5 %). En d'autres termes, 5,5 = 2,5 + (2 x 1,5).

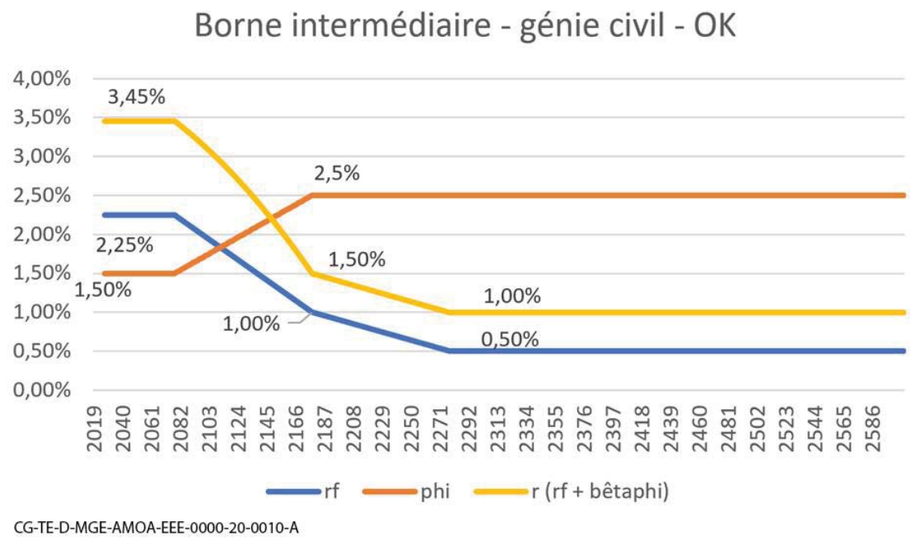
Composante du taux d'actualisation	Jusqu'en 2070	En 2170	À partir de 2270
Bêta intermédiaire – flux de génie civil	0,8	0,2	0,2
Bêta intermédiaire – flux de recherche et maintien des compétences	0,5	0,05	0,05
Taux d'actualisation intermédiaire - flux de génie civil	**3,45 %**	**1,5 %**	**1,0 %**
Taux d'actualisation intermédiaire - flux de recherche et maintien des compétences	**3,0 %**	**1,13 %**	**0,63 %**
Taux sans risque bas	2,0 %	0,1 %	0,1 %
Phi bas	1,0 %	2,0 %	2,0 %
Bêta bas – flux de génie civil	0,1	0,1	0,1
Bêta bas – flux de recherche et maintien des compétences	0,0	0,0	0,0
Taux d'actualisation bas - flux de génie civil	**2,1 %**	**0,3 %**	**0,3 %**
Taux d'actualisation bas - flux de recherche et maintien des compétences	**2,0 %**	**0,1 %**	**0,1 %**

Les graphiques suivants représentent visuellement l'évolution des taux et de leurs composantes en scénario OK, bornes haute, basse et intermédiaire, pour les flux liés au génie civil et pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences.



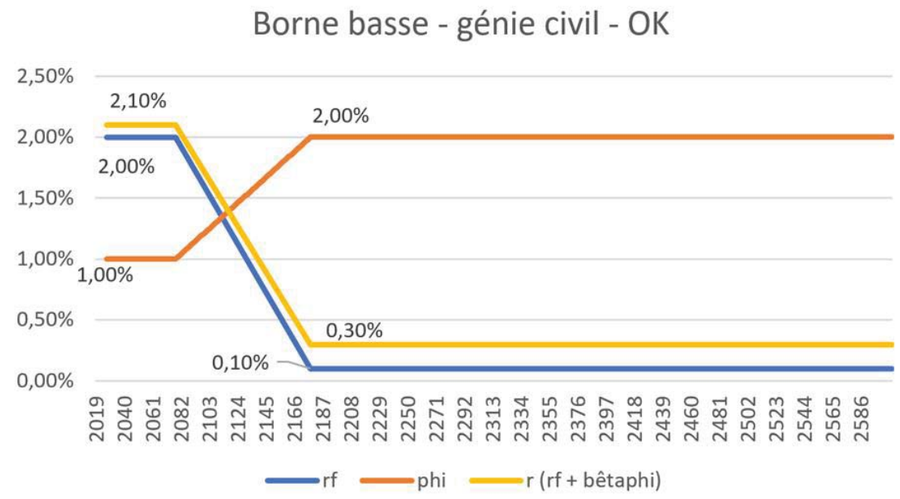
CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0009-A

Figure 3.3-2 Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario OK



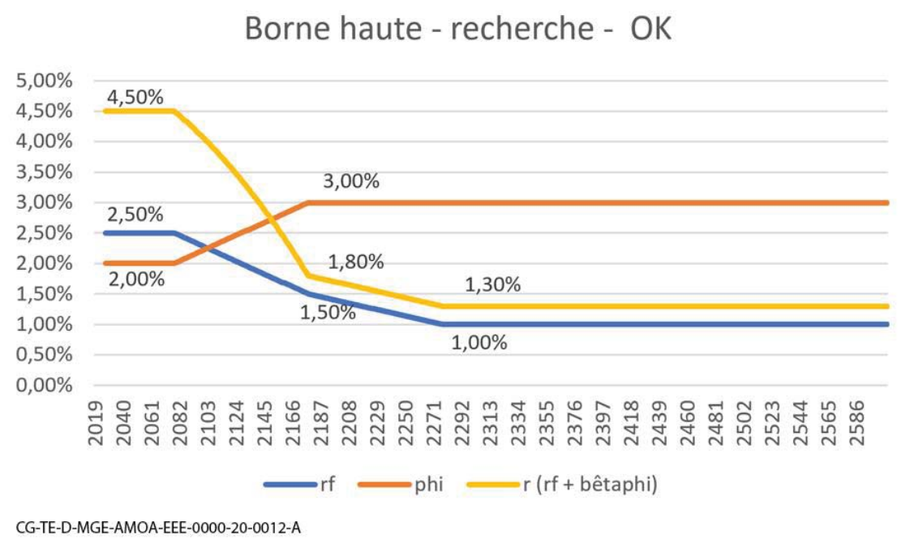
CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0010-A

Figure 3.3-3 *Borne intermédiaire des taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario OK*



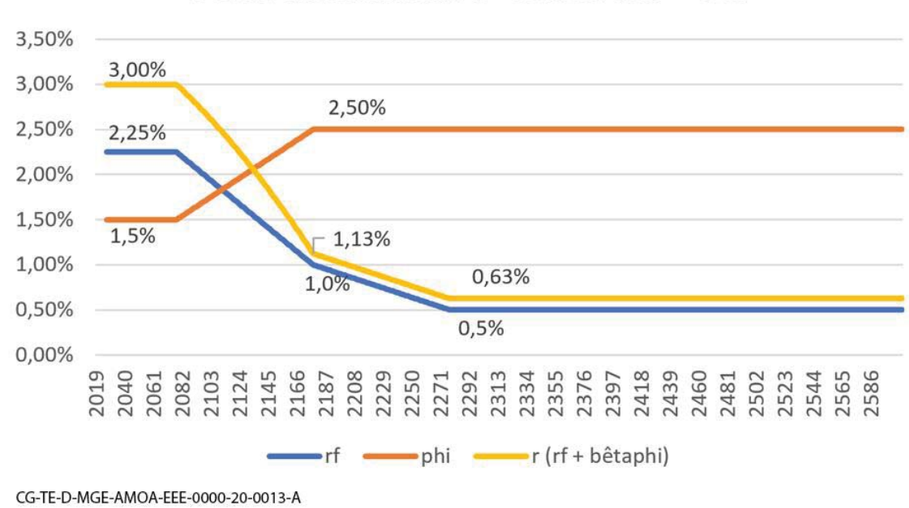
CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0011-A

Figure 3.3-4 *Borne basse des taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario OK*



CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0012-A

Figure 3.3-5 *Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario OK*



CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0013-A

Figure 3.3-6 *Borne intermédiaire des taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario OK*

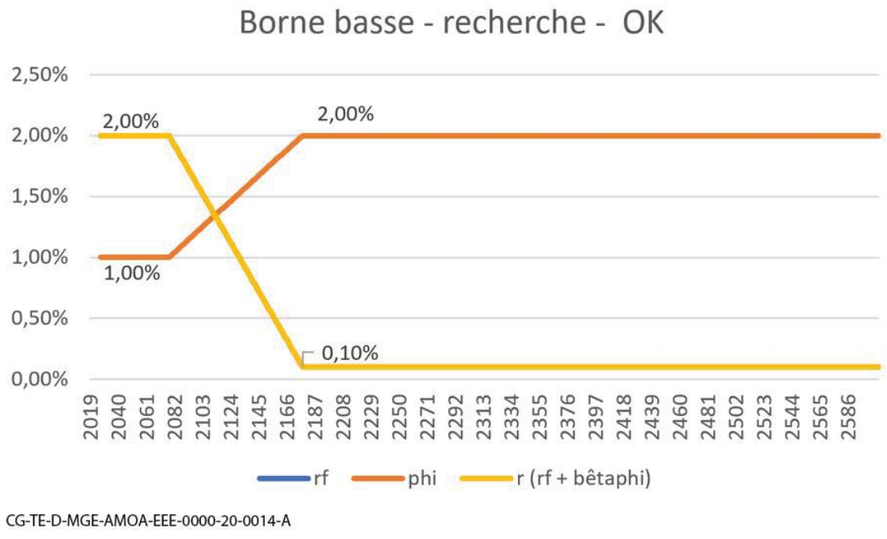


Figure 3.3-7 *Borne basse des taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario OK*

Le facteur d'actualisation correspond au facteur par lequel on multiplie le coût (ou bénéfice) non actualisé pour obtenir le coût (ou bénéfice) actualisé. Mathématiquement, le facteur d'actualisation est donné par la formule suivante pour l'année 2019 :

$$Facteur\ d'actualisation_{2019} = 1/(1+r)\text{^}n$$

Où *r* est la valeur du taux d'actualisation et *n* est le nombre d'années après 2019.

Pour les années subséquentes, les taux n'étant pas stables, le facteur est obtenu en prenant l'inverse du produit des termes (1+r) de l'ensemble des années précédentes et de l'année d'intérêt, par exemple pour 2021 :

$$Facteur\ d'actualisation_{2021} = \frac{1}{(1+r_{2019}) * (1+r_{2020}) * (1+r_{2021})}$$

On observe qu'avec la borne basse, une somme dépensée en 2070 a une valeur actualisée équivalente à 34 % de sa valeur en 2019, tandis qu'avec la borne haute du taux d'actualisation, le poids du futur est encore plus faible : la valeur actualisée tombe à 6,2 % de la valeur en 2019.

3.3.2.2 Scénario KO

a. Le taux sans risque en 2019

Le scénario KO correspond, dans un premier temps, aux prévisions de croissance fournies par les » Shared socioeconomic pathways » pour le SSP3. Comme précisé dans le chapitre 3.2.2.2 du présent document, à partir de 2080, nous supposons une décroissance linéaire jusqu'à atteindre zéro en 2100 ; le taux de croissance est ensuite maintenu nul.

Sur la période 2019 à 2100, la croissance moyenne annuelle de ce scénario s'établit à 0,7 % ; sur la période 2019 à 2070, elle est de 0,89 %. La croissance projetée est donc bien inférieure à celle

utilisée pour la modélisation des taux d'actualisation projetés par le rapport Quinet (2013 (11)) et par Gollier (2016 (55)).

Ainsi, pour l'année 2019, nous proposons de retenir un taux sans risque inférieur au scénario OK, afin de tenir compte de l'incertitude inhérente à ce scénario (effet de précaution) ; par ailleurs, nous proposons de retenir une décroissance du taux plus précoce, afin de refléter la décroissance immédiate du taux de croissance dans ce scénario.

Nous proposons de retenir un taux sans risque en 2019, de 1,5 % pour la borne haute du scénario KO, de 1,25 % pour le taux sans risque intermédiaire et 1 % pour la borne basse.

b. Le taux sans risque entre 2019 et 2100

e.De manière similaire à l'approche des taux de croissance du scénario KO, nous proposons de faire décroitre le taux sans risque du scénario KO, ici linéairement jusqu'en 2100. Le taux sans risque de 2019 ayant été défini ci-dessus, il convient donc de se pencher sur les valeurs que peut prendre le taux sans risque en 2100 dans le scénario KO : la seule valeur positive possible est le taux de préférence pure pour le présent (le taux de croissance étant supposé nul, avec une volatilité nulle). Deux valeurs de taux sans risques sont possibles :

- ✓ si nous considérons qu'il ne doit pas y avoir de préférence pour le présent, le taux sans risque est nul ou proche de zéro ;
- ✓ si nous supposons qu'il convient de prendre en compte une préférence pour le présent, et que nous suivons les recommandations du rapport Lebègue (2005 (54)), le taux sans risque est égal à 1.

Ainsi, en borne haute, nous retenons un taux sans risque en 2100 de 1 %, et en borne basse, de 0,1 %. Le taux sans risque intermédiaire est situé à 0,5 %.

c. Le taux sans risque au-delà de 2100

Au-delà de 2100, les taux sans risque sont stables.

Le tableau suivant résume les choix de taux sans risque, en bornes haute, intermédiaire et basse, pour le scénario KO, aux différentes périodes considérées.

Tableau 3.3-3 *Taux sans risque, dans le scénario KO*

Taux sans risque	En 2019	À partir de 2100[29]
Taux sans risque haut	1,5 %	1,0 %
Taux sans risque intermédiaire	1,25 %	0,5 %
Taux sans risque bas	1,0 %	0,1 %

d. La prime de risque

Les β du scénario KO ont été définis dans le chapitre 3.2.3.2 du présent document.

S'agissant des φ, on estime que plus le risque portant sur la distribution des taux de croissance est élevé, plus φ sera élevé. Il semble légitime de penser que ce risque est supérieur dans une société KO que dans une société OK ; dès lors, φ devrait être supérieur en société KO qu'en société OK.

Il est toutefois hors du champ de cette étude d'estimer un φ précis par scénario ; toute distinction arbitraire introduirait dès lors une précision illusoire. Ainsi, nous notons qualitativement cette potentielle distinction entre *scenarii*, tout en conservant une prime de risque identique entre les *scenarii*.

[29] Le taux sans risque décroît linéairement entre 2019 et 2100, période à partir de laquelle il est considéré stable.

Dès lors, comme dans le scénario OK, nous mobilisons un $\varphi = 2$ en 2019, augmentant linéairement vers $\varphi = 3$ en 2100 pour la borne haute ; pour la borne basse nous retenons $\varphi = 1$ en 2019, augmentant linéairement vers $\varphi = 2$ en 2100. Pour le taux intermédiaire, les valeurs de $\varphi = 1{,}5$, augmentant linéairement vers $\varphi = 2{,}5$ à partir de 2100 sont mobilisées.

e. Résumé des taux d'actualisation retenus en scénario KO

Les taux d'actualisation retenus pour le scénario KO sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3.3-4 Les taux d'actualisation du scénario KO

Composante du taux d'actualisation	En 2019	À partir de 2100
Taux sans risque haut	1,5 %	1,0 %
Phi haut	2,0 %	3,0 %
Bêta haut – flux de génie civil	1,5	0,3
Bêta haut – flux de recherche et maintien des compétences	1,0	0,1
Taux d'actualisation haut - flux de génie civil	**4,5 %**	**1,9 %**
Taux d'actualisation haut - flux recherche et maintien des compétences	**3,5 %**	**1,3 %**
Taux sans risque intermédiaire	1,25 %	0,5 %
Phi intermédiaire	1,5 %	2,5 %
Bêta intermédiaire – flux de génie civil	0,8	0,2
Bêta intermédiaire – flux de recherche et maintien des compétences	0,5	0,05
Taux d'actualisation intermédiaire - flux de génie civil	**2,5 %**	**1,0 %**
Taux d'actualisation intermédiaire - flux de recherche et maintien des compétences	**2,0 %**	**0,63 %**
Taux sans risque bas	1,0 %	0,1 %
Phi bas	1,0 %	2,0 %
Bêta bas – flux de génie civil	0,1	0,1
Bêta bas – flux de recherche et maintien des compétences	0,0	0,0
Taux d'actualisation bas - flux de génie civil	**1,1 %**	**0,3 %**
Taux d'actualisation bas - flux de recherche et maintien des compétences	**1,0 %**	**0,1 %**

Les graphiques suivants représentent visuellement l'évolution des taux d'actualisation du scénario KO, bornes haute, basse et intermédiaire, pour les flux liés au génie civil et pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences.

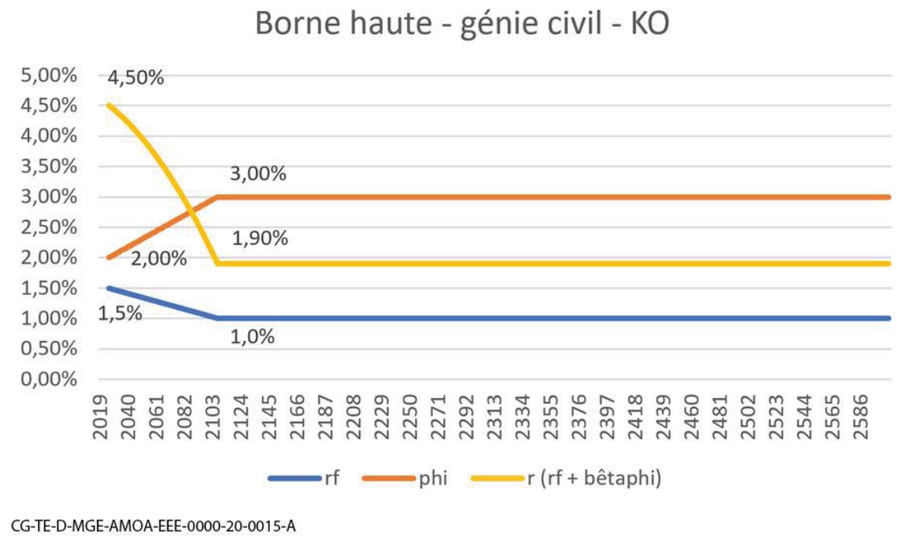


Figure 3.3-8 Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario KO

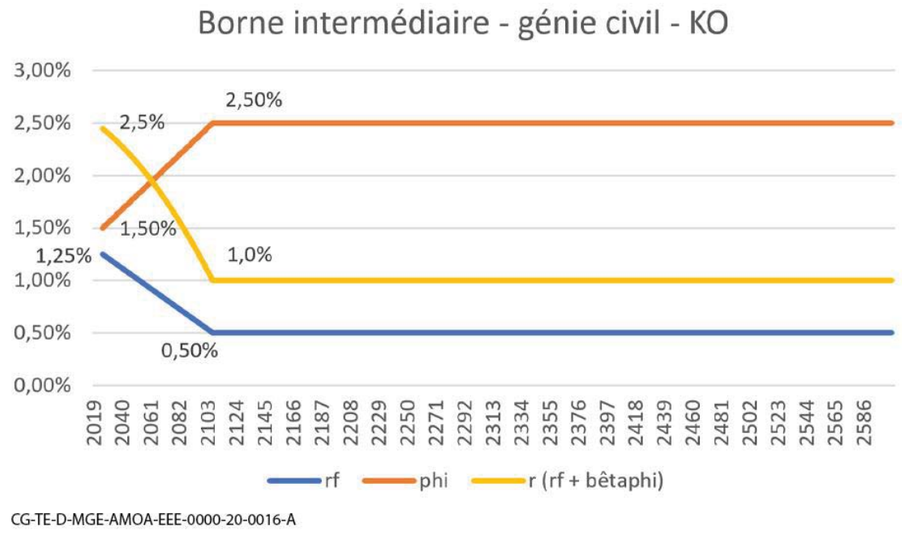
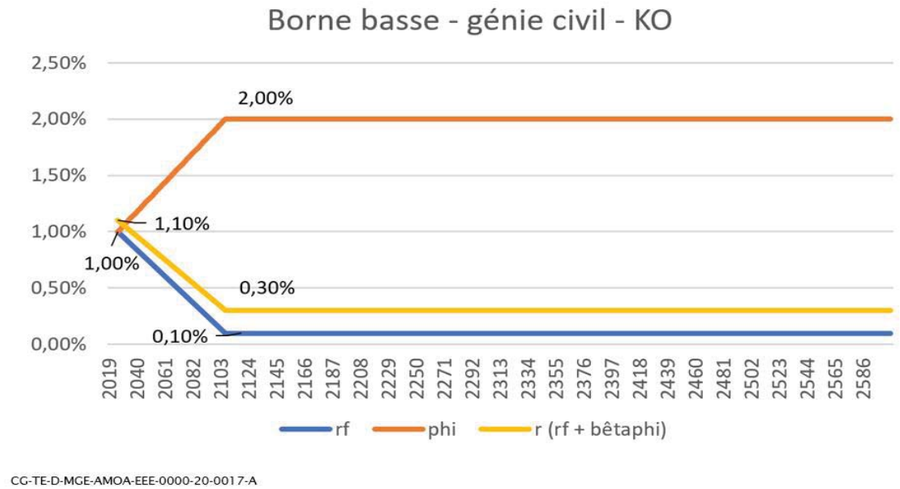
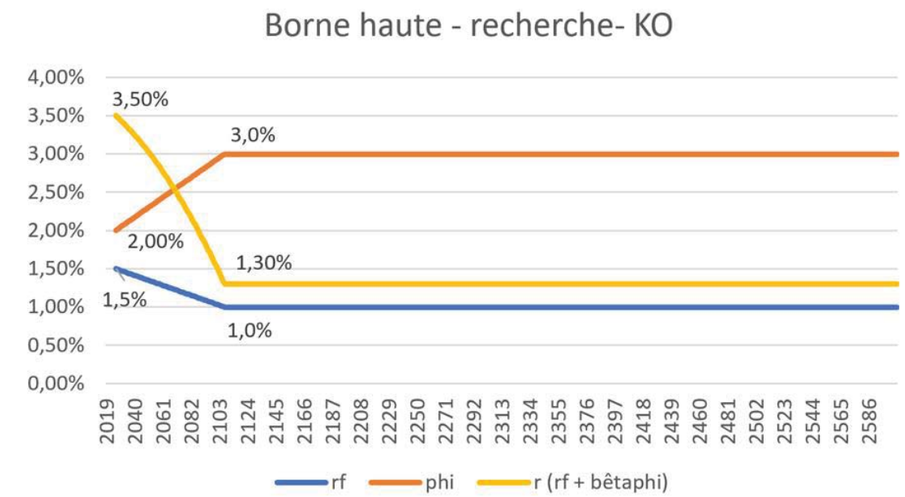


Figure 3.3-9 Borne intermédiaire du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario KO



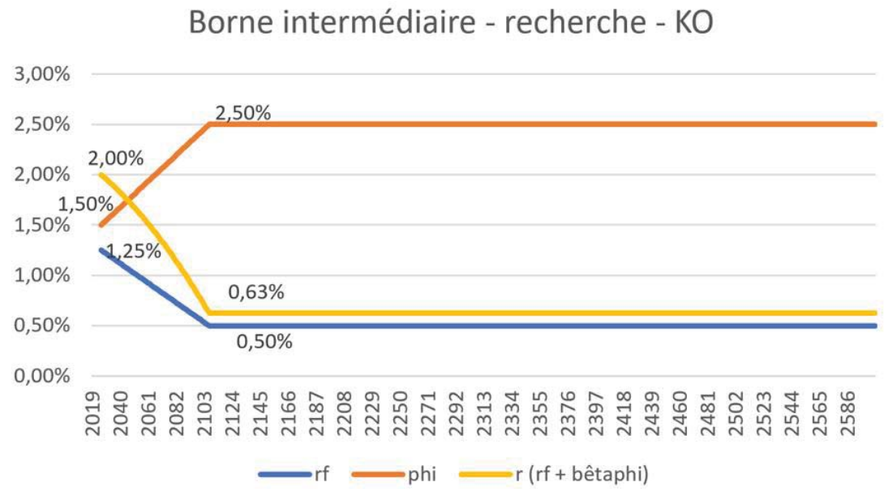
CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0017-A

Figure 3.3-10 *Borne basse du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario KO*



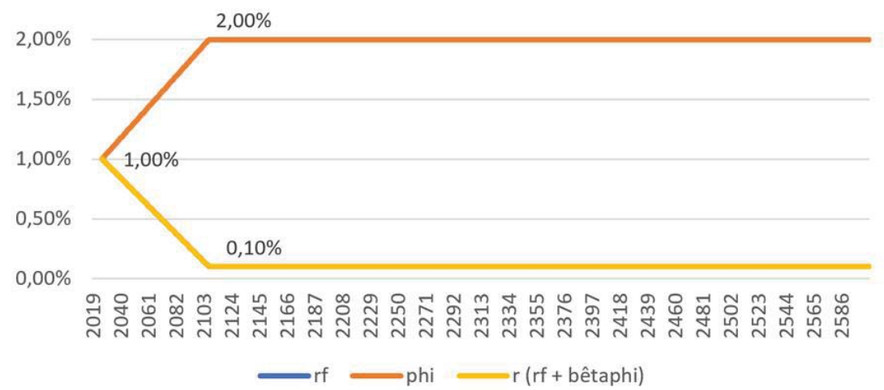
CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0018-A

Figure 3.3-11 *Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario KO*



CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0019-A

Figure 3.3-12 *Borne intermédiaire du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario KO*



CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0020-A

Figure 3.3-13 *Borne basse du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario KO*

a) Tableau de synthèse des taux d'actualisation utilisés

Le tableau suivant synthétise les valeurs des taux d'actualisation utilisés dans l'évaluation socioéconomique pour les deux *scenarii*, pour chaque période, avec les bornes haute, basse et intermédiaire et selon les flux considérés.

Tableau 3.3-5 Récapitulatif des taux d'actualisation utilisés dans l'évaluation socioéconomique

Taux d'actualisation		Scénario OK			Scénario KO	
		Entre 2019 et 2070	En 2170	À partir de 2270	En 2019	À partir de 2100
Flux de génie civil	Taux d'actualisation haut	5,5 %	2,4 %	1,9 %	4,5 %	1,9 %
	Taux d'actualisation intermédiaire	3,45 %	1,50 %	1 %	2,5 %	1 %
	Taux d'actualisation bas	2,1 %	0,3 %	0,3 %	1,1 %	0,3 %
Flux de recherche et maintien des compétences	Taux d'actualisation haut	4,5 %	1,8 %	1,3 %	3,5 %	1,3 %
	Taux d'actualisation intermédiaire	3 %	1,13 %	0,63 %	2 %	0,63 %
	Taux d'actualisation bas	2 %	0,1 %	0,1 %	1 %	0,1 %

3.4 Arbres de décision, aléas et critère de choix

3.4.1 Arbre de décision

Comme ce sera présenté en détail dans le chapitre 4 du présent document, plusieurs options ont été modélisées pour que le décideur public puisse arbitrer, en fonction des coûts et avantages de chacune. Dans la plupart des options, le décideur public se trouve confronté à des choix de mise en œuvre du centre de stockage Cigéo plus ou moins décalée, de mise en place d'une technologie prospective ou de maintien d'un entreposage de longue durée renouvelé. La possibilité de mise en œuvre de ces choix dépend de la possibilité de maintien du site, de l'identification d'un nouveau site et de l'aboutissement de la recherche pour une technologie prospective.

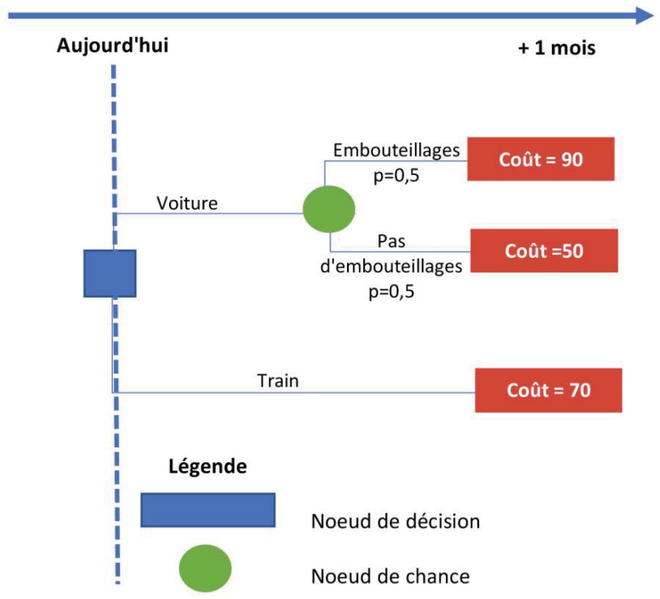
Ces choix possibles et leur probabilité d'occurrence sont représentés dans **des arbres de décision**. Les arbres de décision sont utilisés afin de choisir le meilleur plan d'action face à un problème complexe. Les branches d'un arbre de décision représentent des choix ou conséquences possibles.

Tout au long de ce chapitre, nous utilisons un exemple *ad hoc* pour expliquer les concepts économiques et mathématiques mobilisés : nous imaginons qu'un arbre de décision est utilisé afin de modéliser le choix optimal du mode de transport pour partir en vacances.

Supposons qu'une personne, que l'on nommera au hasard Estelle, se pose la question du mode de transport optimal pour partir en vacances dans 1 mois. Elle a le choix entre prendre le train et utiliser sa voiture. On suppose qu'Estelle ne peut pas réserver de billet de train avant deux semaines, mais qu'elle souhaite arrêter son choix dès que possible.

Si elle décide de partir en voiture, elle pense qu'elle dépensera 50 €. Avec une probabilité de 0,5, il y aura des embouteillages, et elle devra annuler sa réservation d'hôtel, annulation qui lui coutera 30 €. Son coût total est alors de 80 €. Avec une probabilité de 0,5, elle n'aura pas d'embouteillages, et arrivera à l'heure. Son coût total est alors simplement égal au coût d'utilisation de la voiture (soit 50 €).

Si elle décide de voyager en train, elle imagine qu'elle dépensera 70 € ; on suppose qu'elle arrivera toujours à destination à l'heure.



CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0021-A

Figure 3.4-1 Exemple – Nœud de décision déterministe

Afin de choisir le meilleur plan d'action, Estelle commencera par estimer l'**espérance** de chacune des branches. L'espérance correspond aux utilités possibles, multipliées par leur probabilité d'occurrence. Ainsi, l'espérance du coût la branche « voiture » est de 50*0,5 + 80*0,5, soit 65 €. L'espérance de branche « train » est simplement de 70 €.

Estelle réduit son coût, et maximise donc son utilité en choisissant de voyager en voiture ; le choix optimal est donc ici de voyager en voiture, pour un coût espéré de 65 €.

3.4.2 Introduction d'aléa

Les coûts et les probabilités estimés dans cette étude sont entourés de plages de risques. En effet, les coûts de grands investissements ayant tendance à être sous-estimés, et la durée de l'étude étant particulièrement longue, il serait optimiste de fournir une estimation déterministe (c'est-à-dire sans plage de risque), plutôt qu'une fourchette de valeurs possibles. C'est la raison pour laquelle on parle de risque sur les coûts et non d'incertitude : le risque est probabilisable, tandis que l'incertitude ne l'est pas.

Pour faire un parallèle avec l'exemple précédent, on peut supposer que :

- le coût du voyage en voiture est fixe ; Estelle est certaine que son voyage lui coutera 50 € dans deux semaines, et que cette somme n'est soumise à aucun aléa. L'espérance de cette branche est donc toujours égale à 65 €, compte tenu de la probabilité de devoir annuler la nuit d'hôtel ;
- le coût du billet de train est, quant à lui, beaucoup moins certain : entre les offres de dernière minute et les hausses de prix des trains remplis, le sens de l'évolution du prix est totalement inconnu. En prenant en compte cet aléa, Estelle suppose que le prix de son billet de train sera, dans deux semaines, au minimum de 50 €, et, au maximum, de 90 €.

En affectant une plage de risque au coût du billet de train, ce coût devient une variable aléatoire. Il faut alors lui affecter une distribution : en d'autres termes, la probabilité que chacune des probabilités comprise dans cet intervalle se réalise. Une distribution triangulaire, par exemple, suppose qu'une valeur (par exemple, les 70 € supposés par Estelle avant la prise en compte des aléas) se réaliseront beaucoup plus fréquemment que les valeurs extrêmes (50 € et 90 €). Une distribution uniforme suppose qu'il n'y a pas plus de probabilité qu'une valeur survienne plus fréquemment qu'une autre. Il est alors tout aussi probable que le coût de son billet de train soit de 50 € que de 90 € que de n'importe quelle autre valeur dans cet intervalle.

Dans notre exemple, nous supposons que le coût du billet de train adopte une distribution uniforme.

3.4.3 Simulation Monte Carlo

En supposant que la probabilité n'est plus une variable déterministe, mais une variable aléatoire, il devient plus complexe de calculer l'espérance de chaque branche, et donc, la décision optimale de notre voyageuse. Si le coût du billet devient une variable aléatoire, l'espérance de la branche devient également une variable aléatoire.

Afin de calculer l'espérance de chaque branche en présence de variables aléatoires, il convient de s'appuyer sur des simulations Monte-Carlo. Ces simulations effectuent des « tirages » aléatoires répétés de chaque valeur possible de variable aléatoire, en fonction de sa distribution (en général, plus de 1 000 tirages sont nécessaires pour une estimation fine, en fonction du nombre de variables aléatoires).

Le coût du billet de train a été défini comme une variable aléatoire comprise entre 50 € et 90 €, et de distribution uniforme. Ainsi, une simulation Monte-Carlo « tirera » chaque valeur comprise entre 50 € et 90 € autant de fois. Chaque « tirage » correspond à un état du monde possible ; dans certains de ces états du monde, les trains seront vides et Estelle pourra profiter d'offres de dernière minute peu chères ; dans d'autres, les trains seront remplis, et Estelle paiera son billet au prix fort.

3.4.4 Critère de choix

Une fois l'ensemble des espérances et leurs plages de distribution connues *via* une simulation Monte-Carlo, Estelle doit les utiliser pour instruire sa décision d'acheter, ou non, un billet.

3.4.4.1 Choix de décision sans valeur d'option

Le cas le plus simple correspond à la situation décrite ci-dessus : on suppose qu'Estelle doit faire son choix aujourd'hui pour un achat dans deux semaines, et ne peut pas donc pas bénéficier d'un gain de connaissance. Son arbre de décision est identique à celui présenté au chapitre 3.4.1 du présent document, à une exception près : le coût du billet de train est devenu une variable aléatoire.

Avec la mise en place de variables aléatoires, Estelle choisira la branche dont l'espérance moyenne est la plus faible :

- la branche » voiture » ne dépend d'aucune variable aléatoire : son espérance de coût sera toujours de 65 € ;
- la branche « train » dépend de la variable aléatoire qu'est le coût de son billet de train. Son espérance moyenne correspond donc à la moyenne de la distribution de l'espérance de cette branche. Le coût de son billet de train est une variable aléatoire distribuée uniformément entre 50 € et 90 €, soit en moyenne de 70 €. Ainsi, l'espérance moyenne de la branche est tout simplement égal à 70 €.

Estelle choisira donc de partir en voiture, pour un coût espéré de 65 €.

On note ici que la prise en compte de l'aléa ne modifie pas son choix. Cela n'est pas toujours le cas ; par exemple, Estelle pourrait penser que son billet de train aura plus de chances de lui coûter moins de 70 € que plus de 70 €. Dans ce cas, il se peut que la prise en compte des aléas inverse son choix de transport.

3.4.4.2 Choix de décision avec valeur d'option

Supposons maintenant qu'Estelle ne soit pas obligée d'arrêter son choix de transport dès aujourd'hui, et qu'elle puisse attendre le jour de son achat potentiel de billet de train, soit dans deux semaines, pour arrêter son choix. Ce faisant, Estelle profitera d'un gain d'information.

Son arbre de décision prendrait alors la forme suivante :

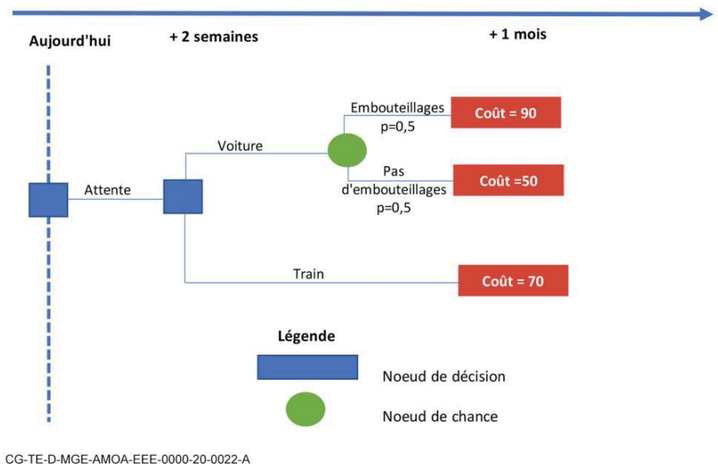


Figure 3.4-2 Exemple – Nœud de décision avec valeur d'option

Si nous utilisons la même méthodologie que ci-dessus, c'est-à-dire le choix de la branche dont l'espérance est la plus faible, le résultat est le même : l'espérance moyenne de la distribution de la branche « train » est de 70 €, soit plus que les 65 € certains de la branche « train ». Estelle choisit de partir en voiture.

Cette méthodologie ne prend pas en compte les gains d'informations possibles. En décidant de son mode de transport le même jour que son achat potentiel de billet de train, Estelle connaîtra son coût exact.

Ainsi, si le billet de train coûte moins de 65 €, Estelle choisira de réserver son billet, car l'espérance de coût de la branche est inférieure à celle de la branche « voiture » (+65) ; si le billet de train coûte plus de 65 €, elle décidera de partir en voiture.

Afin de prendre en considération ce gain d'information dans le calcul, il convient d'estimer des **valeurs d'options**.

Chaque tirage de la simulation représente un « état du monde », auquel est associé un coût du billet de train. Ainsi, à chaque tirage, le choix d'Estelle sera différent. Le graphique ci-dessous illustre le choix d'Estelle à chaque tirage :

- sans valeur d'option (ligne bleu), c'est-à-dire si elle prend sa décision de mode de transport aujourd'hui, sans possibilité d'en changer, elle prend la voiture, pour un coût espéré constant de 65 € ;
- avec valeur d'option (courbe rouge), elle prend le train lorsque celui-ci est moins cher que le voiture (la courbe descend alors en dessous de la ligne représentant son choix à chaque tirage sans valeur d'option) ; lorsque celui-ci est plus cher, elle prend la voiture (la courbe rouge se confond alors avec la ligne bleu).

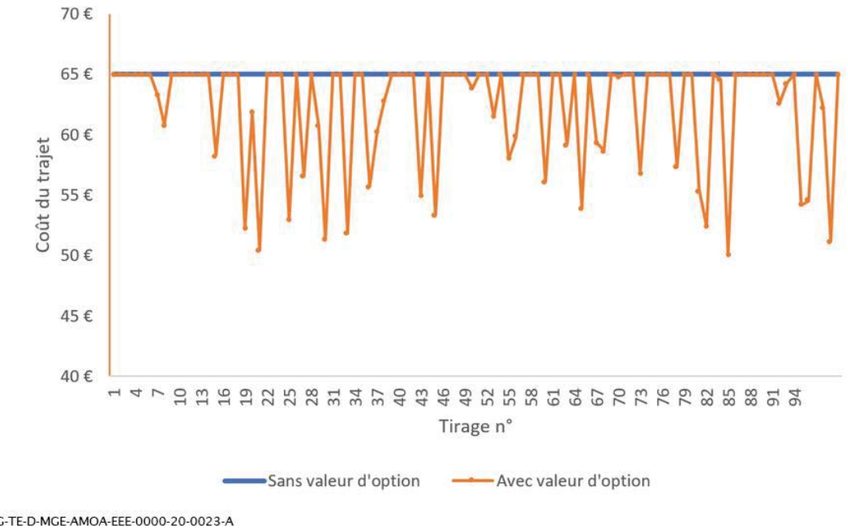


Figure 3.4-3 Exemple – Valeur des tirages avec et sans valeur d'option

L'espérance de l'arbre avec la valeur d'option est égale à la moyenne des points représentés par la courbe rouge sur les 100 tirages effectués ; il s'agit donc d'une moyenne des minimums à chaque tirage. Ainsi, cette espérance tient compte du choix optimal pour l'ensemble des états du monde possible. Contrairement à la décision sans valeur d'option, Estelle n'est pas cantonnée à un choix dont elle ne peut se départir, même si les conditions l'entourant sont modifiées.

Cette espérance avec valeur d'option est de 62 ; dès lors, en moyenne, Estelle gagne 3 euros à retarder sa décision, pour profiter de gains d'information sur le prix du billet de train : elle choisira le mode de transport le moins cher au moment où elle effectuera son choix.

Dans le chapitre qui suit (cf. chapitre 4), les options vont être définies. Puis, dans le chapitre 5 les coûts des options seront estimés et les résultats seront exposés sans valeur d'options. Ce n'est que dans le chapitre 7, mettant en évidence les comparaisons des coûts et des bénéfices des différentes options que le raisonnement avec valeur d'options sera appliqué pour tenir compte des gains informationnels possibles sur la période 2019 - 2070. Nous verrons que les résultats sans et avec valeurs d'options ne varient que très marginalement.

4

Options de projet comparées

4.1 Les modalités étudiées de gestion des déchets radioactifs 91
4.2 Les options retenues et non retenues en bref 95
4.3 Option de projet 1 : le centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra 96
4.4 Option 2 : réalisation du centre de stockage Cigéo et parallèlement, des efforts de recherche pour les déchets HA 98
4.5 Option 3 : réalisation du centre de stockage Cigéo et parallèlement, des efforts de recherche pour les déchets HA et MA-VL 100
4.6 Option 4 : efforts de recherche pour les déchets HA et MA-VL sans investissement dans le centre de stockage Cigéo 104

Comme le rappelle le chapitre 1 relatif à la méthodologie, l'évaluation socioéconomique est une démarche différentielle entre plusieurs options : on n'évalue pas les coûts et les bénéfices de l'option de projet Cigéo dans l'absolu, mais par rapport à d'autres options. Ce chapitre 4 est donc dédié à la description des différentes options envisagées et à leur calendrier.

Par la suite dans le chapitre 5, les coûts de chacune de ces options seront détaillés[30], et dans le chapitre 6, nous estimerons les bénéfices de ces options, ou plus précisément la façon dont chacune des options permet de limiter la probabilité et les conséquences associées à la survenue d'un éventuel accident. Le chapitre 7 permettra de mettre en regard les coûts et bénéfices de chaque option, dans les *scenarii* contrastés identifiés au sein du chapitre 3 du présent document.

La définition des options de projet constitue une étape méthodologique centrale dans l'évaluation socioéconomique, ce qui implique une grande attention. Elle nécessite en premier lieu de préciser le périmètre de l'investissement à évaluer et en second lieu de déterminer d'autres options de projet que l'évaluation socioéconomique requiert conventionnellement de définir.

S'agissant du périmètre, il convient de rappeler que l'évaluation porte sur l'investissement dans un projet permettant de gérer les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue, répertoriés dans l'inventaire de référence. Il ne s'agit en aucun cas d'effectuer une évaluation de la politique énergétique française, ni des perspectives du nucléaire en son sein. En effet, qu'il s'agisse du centre de stockage Cigéo ou de toute autre option décrite dans ce chapitre, aucune ne spécule sur l'avenir du nucléaire français, et toutes visent à répondre aux nécessités de gestion à long terme des déchets produits depuis les années 1950 et qui sont actuellement entreposés.

S'agissant du choix des « autres options de projet », plusieurs définitions peuvent être envisagées.

La définition la plus restrictive consiste à n'envisager que des options desquelles résultent des solutions de gestion des déchets susceptibles de rendre le même service que le centre de stockage Cigéo, c'est-à-dire ne nécessitant plus, après fermeture, de surveillance active (et donc indépendant de l'état de la société). Or en l'état actuel des connaissances, aucune technologie de substitution au stockage géologique profond ne permet de répondre aux exigences de sûreté françaises, contrairement au centre de stockage Cigéo. De la même façon, à l'international, les autres technologies ayant fait l'objet d'études approfondies ne disposent pas, de fait, du même niveau de maturité que le stockage géologique profond sur le plan industriel. Afin de répondre aux exigences de la méthode d'évaluation socioéconomique, des options prospectives sont tout de même considérées, et leur quantification inclut un temps long de recherche et développement (50 ans), dont le succès n'est pas garanti. L'évaluation socioéconomique permet toutefois de prendre en compte une telle incertitude.

Une définition plus large, conforme aux orientations du rapport Quinet (2013 (11), cf. page 51), concerne l'option de référence qui « *devrait être la situation optimisée la plus probable en l'absence de la réalisation du projet, à l'horizon considéré. Elle diffère donc d'un choix systématique d'intervention au fil de l'eau ou d'un choix systématique de maintien de la qualité de service. Elle ne comporte pas le projet étudié.* » L'entreposage de longue durée renouvelé des déchets radioactifs correspond bien à cette définition : le maintien d'un tel dispositif correspondrait le plus vraisemblablement à la solution retenue (au fil de l'eau) en l'absence de décision d'investir dans le stockage définitif et pérenne. Notons que cette solution nécessite une surveillance active et permanente, alors que le centre de stockage Cigéo permet la mise en sécurité définitive des déchets par un stockage passif, sans action de surveillance (humaine) après fermeture. Ces deux solutions (le stockage en couche géologique profonde et l'entreposage) ne permettent donc pas de rendre le même service à la société du futur. En outre, la sensibilité de ces solutions aux risques d'accident diffère (voir chapitre 6). Comme nous le verrons plus loin dans ce chapitre, l'entreposage de longue durée renouvelé est la résultante d'une des branches de l'option 4.

Avant de décrire une à une les options, le chapitre 4.1 du présent document, retrace toutes les technologies alternatives ayant été considérées avant de retenir le stockage en couche géologique profonde, leur historique et leur maturité.

[30] Les estimations de coûts de cette évaluation socioéconomique ne sauraient se substituer aux mises à jour réglementaires du coût de Cigéo, dont la prochaine est prévue lors du processus d'autorisation de création de Cigéo (61).

4.1 Les modalités étudiées de gestion des déchets radioactifs

Ainsi que cela a été décrit dans le chapitre 2, la France a conduit, dans le cadre de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 dite loi « Bataille » (22), des recherches visant à définir la meilleure solution de gestion possible pour les déchets radioactifs à haute activité et à vie longue. Plusieurs alternatives ont été investiguées :

- la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue ;
- le stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes ;
- les procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface.

Après 15 années de travaux de recherche, le stockage réversible géologique profond s'est peu à peu imposé comme solution de référence. Bien qu'un large consensus des experts internationaux et des institutions techniques en charge des déchets radioactifs soit en faveur du stockage géologique profond (cf. chapitre 2.5 du présent document), cette solution continue de faire débat.

Cette évaluation socioéconomique ne constitue en rien une étude technique de différentes solutions, en revanche son but est d'objectiver les coûts et bénéfices des options, sur la base des données techniques partagées.

Plusieurs autres pistes concernant la gestion des déchets radioactifs faisant l'objet de travaux de recherche ont été inventoriées par l'IRSN (2019 (38)). Parmi ces pistes, on relève en particulier :

- la séparation-transmutation ;
- l'entreposage ;
- le stockage de déchets solides et conditionnés en forages profonds.

Si le rapport de l'IRSN identifie parmi les alternatives étudiées historiquement le stockage en fond marin, l'envoi des déchets radioactifs dans l'espace ou encore l'immobilisation de déchets dans la glace, celles-ci n'ont pas été retenues dans le cadre de cette évaluation. En effet, il convenait, pour l'évaluation, de disposer d'un socle minimum et documenté de données économiques pour en modéliser les conséquences. Par ailleurs, l'étude de ces pistes est aujourd'hui abandonnée à l'international et en France également.

Les chapitres 4.1.1, 4.1.2 et 4.1.3 ci-après présentent les trois pistes inventoriées par l'IRSN et discutent de leur pertinence en tant que technologie prospective pouvant figurer comme option alternative au stockage géologique profond dans cette évaluation socioéconomique.

4.1.1 La séparation/transmutation

L'étape préliminaire à la transmutation des actinides mineurs consiste à les séparer des combustibles qui les contiennent. Différents procédés de séparation existent. La transmutation vise à transformer des radionucléides dont la période radioactive est très longue (jusqu'à plusieurs centaines milliers d'années) en éléments stables ou à vie plus courte. La transmutation consiste en l'absorption d'un neutron par le noyau d'un radionucléide, ce qui conduit à en modifier les caractéristiques radioactives ou à provoquer une réaction de fission et donc à réduire la dangerosité des déchets.

Les experts s'entendent sur le fait que si un cycle électronucléaire basé sur des réacteurs à neutrons rapides permettrait théoriquement une réduction de la radiotoxicité des déchets issus du traitement des combustibles usés et de la durée de cette radiotoxicité, un tel cycle conduirait *in fine* à la production de déchets de haute activité pour lesquels la seule solution de gestion est le stockage géologique profond. Ainsi, le CEA précise « *La transmutation ne supprime pas le besoin d'un stockage géologique qui représente la solution définitive pour gérer de manière durable les déchets radioactifs ultimes de haute et moyenne activité à vie longue dont il est impossible d'envisager la suppression totale. La transmutation doit ainsi être perçue comme une piste d'optimisation de la gestion de ces déchets* » (2012 (62)).

L'IRSN, dans le cadre du débat public sur le centre de stockage Cigéo en 2013 s'exprimait en ces termes : « *L'IRSN considère que la séparation/transmutation ne constitue pas une alternative au stockage géologique. En dépit de l'avancée des recherches qui se poursuivent aujourd'hui, il est vraisemblable que ces opérations ne seront pas réalisables à l'échelle industrielle dans un proche avenir ni applicables aux déchets déjà produits* » (63).

Dans le Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2019 (3), l'ASN « *considère que les gains espérés de la transmutation des actinides mineurs en termes de sûreté, de radioprotection et de gestion des déchets n'apparaissent pas déterminants, au vu notamment des contraintes induites sur les installations du cycle du combustible, les réacteurs et les transports, qui devraient mettre en œuvre des matières fortement radioactives à toutes les étapes du cycle du combustible. L'ASN considère également que ces gains ne supprimeraient pas le besoin d'un stockage profond, et ne pourraient apporter une réduction tangible de l'emprise d'un futur stockage que dans l'hypothèse d'une exploitation au moins séculaire d'un parc de réacteurs à neutrons rapides suffisamment important pour assurer la cohérence d'ensemble du cycle.* »

Les efforts de recherche sur les technologies de séparation poussée des radionucléides présents dans le combustible usé et les réacteurs de génération 4 permettant la transmutation des actinides (isotopes de l'américium, du neptunium et du curium en particulier) favorisent le maintien d'une expertise et d'une compétence nécessaires à la filière électronucléaire et utiles pour penser l'optimisation globale du cycle. Ces efforts doivent être maintenus. Pour autant, les acteurs de la filière en France ou en Russie, pays actuellement en pointe sur les réacteurs à neutrons rapides et le déploiement d'un cycle nucléaire fermé, s'entendent tous sur le fait que dans tout scénario, des déchets ultimes de type HA sont produits et nécessitent une solution de mise en sécurité définitive. Le stockage géologique est présenté par tous comme un maillon nécessaire et intégré à la stratégie du cycle.

Dès lors, dans la mesure où la séparation transmutation permet d'optimiser, mais pas de supprimer les déchets radioactifs et dans la mesure où cette technologie nécessiterait tout de même *in fine* de mettre en œuvre une solution de mise en sécurité définitive comme le stockage en couche géologique profonde, la séparation transmutation n'est pas étudiée, dans cette évaluation socioéconomique, comme option alternative au centre de stockage Cigéo.

4.1.2 L'entreposage de longue durée

Au sujet de l'entreposage de longue durée, l'IRSN précisait, toujours dans le cadre du débat public de 2013 sur le centre de stockage Cigéo : « *Le choix d'une solution d'entreposage de longue durée des déchets HA et MA-VL engagerait inéluctablement les générations futures à réaliser ces opérations lourdes et potentiellement dangereuses, impliquant une exposition significative des travailleurs qui en auraient la charge. De plus, en cas d'abandon, l'entreposage générerait à terme des conséquences inacceptables pour le public et l'environnement. L'IRSN estime en conséquence qu'il n'est pas approprié d'imposer sciemment aux générations futures une telle charge de contrôle et de maîtrise des risques, dès lors qu'une solution pérenne peut être mise en œuvre à une échéance rapprochée.* »

L'entreposage ne constitue donc pas une solution de gestion passive des déchets radioactifs, dans le sens où cette solution nécessite des moyens humains et financiers de surveillance, de reprise des colis, de renouvellement des entrepôts et de maintien des sites d'entreposage. Par ailleurs, situés en surface, les sites d'entreposage sont plus exposés à divers risques sur le long terme (cf. chapitre 6 du présent document).

Comme nous le verrons dans le chapitre 4.6 du présent document, certaines options de projet définies dans cette évaluation socioéconomique peuvent conduire à de l'entreposage de longue durée renouvelé (parce que les efforts de R&D ne portent pas leurs fruits et parce qu'il existe un risque de perdre le site actuel de Meuse/Haute-Marne pour l'implantation du centre de stockage Cigéo), mais l'entreposage de

longue durée n'est pas la finalité poursuivie dans l'option en question[31]. En effet, l'entreposage éternel n'apparait pour personne comme une solution souhaitable, comme rappelé par l'IRSN et résumé dans les paragraphes ci-dessus au titre d'une plus forte exposition aux risques et une charge financière pour les générations futures.

4.1.3 Le forage profond

L'IRSN, dans son panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue (38), consacre un chapitre au forage profond et aborde plus précisément le stockage de déchets solides et conditionnés en forage, tout en soulignant que cette option n'a pas fait l'objet de recherche en France. Dans ce document, on relève ainsi les éléments suivants :

« *Le premier concept de stockage de déchets solides en forages a été élaboré par la National Academy of Sciences des États-Unis en 1957. Les recherches sur cette option ont été abandonnées dans les années 1970 au profit de celles sur les concepts de stockage en mines ou installations souterraines. Les importants progrès technologiques intervenus au cours des trente dernières années ont récemment conduit certains pays à s'intéresser à nouveau à cette option. Aux États-Unis, un concept de référence a été proposé par Sandia National Laboratories à la demande du Department of Energy (DOE). Celui-ci consiste à placer 400 conteneurs de déchets au fond d'un forage profond d'environ 5 000 mètres.*

Certains pays nucléarisés maintiennent une veille sur le sujet et d'autres considèrent le stockage en forage comme une option possible, au même titre qu'une installation de stockage géologique (par exemple la Belgique). Toutefois, seuls les États-Unis poursuivent des études poussées.

Un rapport publié en octobre 2013 par Sandia National Laboratories (64) indique que les évaluations préliminaires de stockage en forages profonds montrent de bonnes caractéristiques de confinement des déchets, et que le concept pourrait constituer, pour certains déchets, une solution de gestion définitive plus rapide à mettre en œuvre qu'un stockage géologique dans une installation souterraine. Les études menées plus particulièrement sur le stockage de combustibles usés civils conduisent à estimer à environ 800 le nombre de forages nécessaires. Ces études ont trouvé un écho particulier au Royaume-Uni et en Allemagne.

En janvier 2016, la compagnie Battelle a été chargée par le DOE de réaliser un forage d'essai de 4 880 mètres dans un socle cristallin du Dakota du Nord pour le stockage de sources de césium et de strontium actuellement entreposées sur le site de Hanford, ainsi qu'éventuellement des calcinats de haute activité et des sels provenant du traitement électrométallurgique des combustibles au sodium. Le site identifié dans le Dakota du Nord ayant été abandonné à la suite de mouvements de protestation, le DOE et Battelle ont envisagé successivement plusieurs autres implantations pour ce forage d'essai (Dakota du Sud, Nouveau-Mexique, Texas, etc.) mais ont dû les abandonner tour à tour en raison d'oppositions locales. Le DOE a annoncé l'arrêt de son projet de forage d'essai le 23 mai 2017.

En termes de recherches, les besoins de connaissance nécessaires au développement de ce type de stockage en forages de déchets solides recoupent assez largement ceux explorés dans le cadre des projets de stockage géologique dans une installation souterraine. Quelques spécificités ressortent toutefois des réflexions passées ou en cours. Elles concernent plus particulièrement les techniques de manutention des colis lors de la mise en forage mais aussi les méthodes de scellements qui, bien qu'elles soient également requises pour les installations souterraines associées au stockage géologique, font appel à des techniques

[31] Pour des raisons de cohérence mathématique, une variante de l'option 4, modélisant dès 2019, le choix d'un entreposage de longue durée renouvelé (sans sécuriser le site actuel de Meuse/Haute-Marne, ni investir dans de la R&D pour trouver une solution alternative), a été étudiée. Cette variante est à l'évidence contraire à l'esprit de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4) de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs puisqu'elle laisse délibérément aux générations futures la tâche de gérer ces déchets, mais elle permet de mener le raisonnement logique jusqu'au bout, notamment pour le calcul d'un bénéfice assurantiel pivot de l'option de projet 1 (centre de stockage Cigéo).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Options de projet comparées

spécifiques dans le cas d'un stockage en forages, notamment en termes de manutention et de scellement ».

Le stockage en forage profond (deep borehole) apparait potentiellement comme une alternative technique au stockage géologique profond qui fournirait, en l'absence d'exigence de réversibilité et de récupérabilité des colis, un service approchant pour la société en terme de mise en sécurité définitive post fermeture. Cela étant, le développement d'un tel concept dans le contexte français nécessiterait d'importants travaux de recherche (typiquement, les caractéristiques du site de Meuse/Haute-Marne ne sont pas évaluées pour ce concept et *a priori* ne conviendraient pas pour une technologie de forage profond). Ces travaux de recherche ne sont pas envisagés à ce stade par la loi.

En complément du rapport de l'IRSN, la thèse d'Allen Bates (2015 (65)) soutenue au MIT et intitulée « Optimization of deep boreholes for disposal of high-level nuclear waste » comporte des éléments utiles à l'analyse du coût de la mise en place industrielle de cette solution de gestion.

Ces éléments ont conduit à considérer, dans le cadre de cette évaluation, le stockage en forage profond comme technologie prospective de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs HA, qui pourrait être mise en place en alternative au centre de stockage Cigéo, après des efforts de R&D. Si les déchets HA disposent d'une géométrie compatible avec une mise en forage profond, certains déchets MA-VL, emprisonnés dans des colis de ciment cubiques, ou sous d'autres formes imposantes, ne sont pas compatibles en l'état en géométrie avec cette technologie. Pour cette raison, dans les options dans lesquelles une technologie prospective alternative est recherchée pour les MA-VL, l'évaluation socioéconomique prévoit une densification préalable à la mise en forage.

Il sera retenu que les choix de mise en forage pour les déchets HA et de densification puis mise en forage pour les déchets MA-VL comme technologies prospectives alternatives au stockage en couche géologique profonde sont de nature conventionnelle et restreints au seul cadre de cette évaluation socioéconomique. Cela n'indique en rien que la voie est actuellement ouverte pour mettre en place cette technologie prospective en France. Il s'agit du jeu d'hypothèses que la démarche d'évaluation socioéconomique impose de réaliser.

À présent, les chapitres 4.3 à 4.6 décrivent les différentes options de projet pour lesquelles des coûts et des bénéfices seront estimés (cf. chapitres 5 et 6 du présent document), et qui seront comparées entre elles.

4.2 Les options retenues et non retenues en bref

L'évaluation socioéconomique requiert de modéliser une option de projet et un ou plusieurs contrefactuels, qui sont des options alternatives auxquelles est comparée l'option de projet. Les contrefactuels correspondent à ce qu'il se passerait le plus vraisemblablement si la décision de réaliser le projet (option de projet) n'était pas prise.

L'option consistant à délibérément ne rien faire pour la gestion des déchets radioactifs (c'est-à-dire ni stockage en couche géologique profonde, ni recherche et développement en vue de mettre en œuvre une technologie prospective, mais laisser sans limite de temps les déchets radioactifs en entreposage) a été écartée en tant que contrefactuel. En effet, autant il a été envisagé que des efforts de R&D pour tenter de trouver une technologie prospective de gestion définitive n'aboutissent pas, et que cette situation conduise en 2070 à de l'entreposage de longue durée renouvelé, autant il n'est pas apparu crédible qu'en 2019, dans une société qui se préoccupe de ses déchets et de la sécurité des générations futures, la décision soit prise de maintenir des déchets radioactifs en entreposage *sine die*[32].

Pour cette raison, les options de références modélisées dans cette évaluation postulent toutes que le décideur public a pour ambition finale de mettre en place une technologie de mise en sécurité définitive.

Pour fixer les idées, et comme vu dans le chapitre 4.1 du présent document, la technologie prospective de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs HA la plus crédible consistera dans cette évaluation socioéconomique en une mise en forage profond. La technologie prospective de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs MA-VL la plus crédible consistera quant à elle en une densification, suivie d'une mise en forage profond[33]. Des efforts conséquents de R&D seraient nécessaires pour démontrer que ces technologies prospectives sont capables de confiner la radioactivité de l'ensemble des déchets HA et MA-VL du parc français à un niveau acceptable sur une très grande échelle de temps. De telles recherches visant à rendre les technologies de densification et de mise en forage compatibles avec le niveau de sûreté exigé requièrent de s'abstraire du principe de mutualisation des déchets HA et MA-VL gérés *via* une même technologie. En effet, les options présentées ci-après ouvrent la possibilité, après des travaux de R&D, que ces deux familles de déchets soient gérées *via* des technologies différentes, ce qui diffère de l'objectif initial de gestion mutualisée de ces déchets dans le centre de stockage Cigéo.

En résumé, les options considérées dans cette évaluation socioéconomique sont :

- **L'option de projet 1** désigne une configuration de réalisation du centre de stockage Cigéo, tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi, après avis favorable de l'ASN ;
- **L'option 2** désigne une configuration où, après réalisation des premiers investissements du centre de stockage Cigéo, seuls les déchets MA-VL y seraient stockés dans un premier temps. Dans cette option, l'hypothèse est posée d'un temps dédié à de la R&D supplémentaire entre 2019 et 2070 pour trouver une autre solution robuste pour les déchets HA et un site afférent. La décision de gestion pour ces déchets est prise en 2070. En fonction des résultats de la recherche, la solution prospective est mise en place, ou pas, pour les déchets HA. En cas de recherche infructueuse ou de solution insuffisamment sûre ou trop onéreuse, les déchets HA sont finalement stockés dans le centre de stockage Cigéo ;
- **L'option 3** désigne une configuration où les premiers investissements du centre de stockage Cigéo sont réalisés. En parallèle, entre 2019 et 2070, des efforts de R&D sont entrepris en vue de trouver une autre solution que Cigéo pour la mise en sécurité définitive à long terme, à la fois pour les déchets HA et pour les déchets MA-VL. Plusieurs possibilités s'ouvrent alors en fonction du succès desdites recherche et de leur coût ;
- **L'option 4** désigne une configuration où les premiers investissements du centre de stockage Cigéo ne sont pas réalisés, ce qui conduit à considérer un report de décision avec en parallèle, des efforts de R&D réalisés pour trouver une autre solution de mise en sécurité définitive des déchets HA et des déchets MA-VL. Les résultats de cette R&D ne sont pas garantis. Par ailleurs, le report de la décision introduit une probabilité de perte du site d'implantation du centre de stockage Cigéo en Meuse/Haute-Marne. Au final, douze branches sont alors obtenues en 2070, dont huit distinctes, en fonction de la perte ou pas du site actuel de Meuse/Haute-Marne, de l'issue de la recherche pour les déchets HA, de l'issue de la recherche pour les déchets MA-VL, et le cas échéant de l'issue de la recherche d'un nouveau site d'implantation pour le centre de stockage Cigéo. Deux de ces branches conduisent à laisser indéfiniment les déchets radioactifs sur leurs sites actuels d'entreposage, ce qui revient à une solution reposant sur l'intervention active de la société quant à la gestion de ces déchets radioactifs, sans mise en sécurité définitive. Ces branches sont orthogonales à la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4) de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, mais d'une part, rien ne permet de garantir que d'ici à 2070 la loi n'évoluera pas, et d'autre part, l'existence de ces branches permet de mettre en lumière les risques associés à l'entreposage de longue durée renouvelé.

Les options sont décrites dans le détail dans les chapitres suivants.

[32] Dans un souci d'exhaustivité de l'analyse, des variantes ont été modélisées. Une variante de l'option 4 consistant en de l'entreposage décidé dès le début de la période analysée, sans tentative de trouver une solution de mise en sécurité définitive, permet notamment d'estimer un bénéfice assurantiel comme différence entre l'option jugée sûre et l'option jugée risquée (voir chapitre 7). Une variante de l'option de projet 1 (mise en place du centre de stockage Cigéo) décalant de 10 et 20 ans les prises de décisions a également été modélisée, interrogeant le poids de l'actualisation par rapport aux coûts additionnels liés à un entreposage décalé de 10 ou 20 ans. (cf. Chapitre 5.2.4).

[33] Notons que la technologie de forage profond ne répond pas à l'exigence de réversibilité.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Options de projet comparées

4.3 Option de projet 1 : le centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra

L'objet de ce chapitre est de décrire une configuration où le décideur public lance, après avis favorable de l'ASN, la réalisation du centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi, afin que tous les déchets soient gérés en ayant recours au stockage géologique profond pour leur mise en sécurité définitive.

Le lecteur pourra se référer au chapitre 2.4 du présent document pour une description plus détaillée des différentes phases, selon l'avancement au stade d'avant-projet détaillé ; ces phases seront précisées ultérieurement dans le cadre de la demande d'autorisation de création.

Dans cette évaluation socioéconomique, une présentation volontairement schématique des phases est adoptée, notamment en ce qui concerne les dates et leur enchainement, et résulte d'un compromis entre la vision à ce jour des études d'avant-projet, celle en vigueur à la date de l'esquisse et un angle nécessairement plus synthétique pour les besoins de l'évaluation. Rappelons ici que la finalité de cette présentation est de permettre l'estimation de l'option de projet 1, afin d'être intégrée dans l'évaluation socioéconomique et de faciliter la comparaison aux autres options.

Ainsi, dans la suite du présent rapport, comme dans ses illustrations, la schématisation de l'option de projet 1 fera ainsi référence à : la **construction initiale** et la **phase industrielle pilote** avec les **essais actifs et inactifs**, le **fonctionnement** et le **démantèlement**. Les autres phases, non citées expressément, sont toutefois intégrées dans l'échéancier des coûts considéré.

Si la phase de conception fait référence à des périodes antérieures à 2019 (brièvement décrits dans le chapitre 2.4 du présent document), la comptabilisation des coûts et bénéfices des différentes options s'effectue à partir de l'année 2019, en euros 2019. En d'autres termes, certains coûts de mise en place du projet Cigéo sont considérés comme échoués et non comptabilisés par cette évaluation. Ce choix se justifie par le fait que l'évaluation doive servir à éclairer les choix de demain ; on note par ailleurs que ces coûts échoués sont marginaux.

Concernant les dates considérées dans cette évaluation socioéconomique, notons qu'elles résultent d'hypothèses temporelles faites sur le phasage de Cigéo issu des études d'avant-projet et décrit dans le chapitre 2.4 du présent document. Ainsi, les hypothèses temporelles de cette évaluation socioéconomique sont les suivantes, les phases s'enchainant de manière séquentielle ;

- la phase industrielle pilote du projet, qui démarre par la phase de construction initiale, positionne ici le démarrage des essais inactifs à l'horizon de 2030 puis, après autorisation de mise en service, enchaine avec les essais actifs pour s'étendre sur une période de 10 ans au total ;
- le fonctionnement est ici positionné à l'horizon de 2040, après bilan de sortie de la phase industrielle pilote et une loi adaptant les conditions de poursuite du fonctionnement, avec :
  - ✓ dans un premier temps, le stockage des déchets MA-VL intervenant entre 2040 et 2100 ;
  - ✓ dans un second temps, le stockage des déchets HA intervenant en décalé entre 2080 et 2145, lorsqu'ils auront suffisamment refroidi pour pouvoir être stockés dans le centre de stockage Cigéo ;
  - ✓ la fin de la phase de fonctionnement est ainsi imaginée en 2145, le centre de stockage Cigéo étant démantelé progressivement ensuite ;
- le démantèlement est ici positionné à l'horizon de 2145, et s'étend sur une période de 10 ans jusqu'en 2155.

À ce stade, les déchets radioactifs seront dans le centre de stockage Cigéo, lui-même fermé, et ne nécessitant plus d'actions humaines. Il est alors attendu que le moment venu, la couverture géologique prenne le relais pour garantir sur des temps très longs le confinement des radionucléides et la protection de l'homme et de l'environnement, conduisant ainsi à un processus de surveillance passive.

La Figure 4.3-1 ci-dessous représente le calendrier illustratif de l'option de projet 1 de Cigéo, schématisé dans cette évaluation socioéconomique avec ses différentes phases :

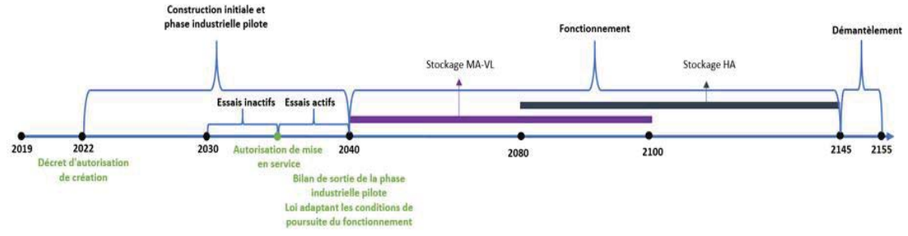


Figure 4.3-1 Calendrier illustratif de l'option de projet 1

Une variante de l'option de projet 1 consistant à décaler la date de démarrage des travaux du centre de stockage Cigéo de 10 et 20 ans, a été modélisée pour mettre en évidence le poids de l'actualisation (cf. chapitre 5.2.4). Toutefois la modélisation de cette procrastination (report des décisions, sans tentative de trouver des solutions alternatives de mise en sécurité définitive) est un exercice numérique visant simplement à refléter l'importance des échéanciers de coûts. Il ne s'agit pas d'une description complète de ce qu'il se passerait vraisemblablement en cas de décision de ne pas lancer tout de suite les investissements du centre de stockage Cigéo (des efforts de R&D seraient probablement entrepris), ni des risques auxquels cette décision exposerait (risque de perdre le site de Meuse/Haute-Marne, exposition au risque d'accident, etc.)

4.4 Option 2 : réalisation du centre de stockage Cigéo et parallèlement, des efforts de recherche pour les déchets HA

L'option 2 désigne une configuration où le décideur public lance la construction initiale du centre de stockage Cigéo, ainsi que la phase industrielle pilote, en vue de stocker des déchets MA-VL. La différence par rapport à l'option de projet 1 concerne les déchets HA : dans l'option 2, le décideur public entreprend un effort en R&D ciblé sur ces déchets, en vue de trouver une autre solution de mise en sécurité définitive que le stockage géologique profond[34]. Cet effort dure de 2019 à 2070, date à laquelle une décision est prise quant à la solution de mise en sécurité définitive appropriée.

La figure 4.4-2 représente l'option 2, avec ses différents nœuds : nœuds de décision (endogènes au projet) et nœuds de chance (exogènes au projet).

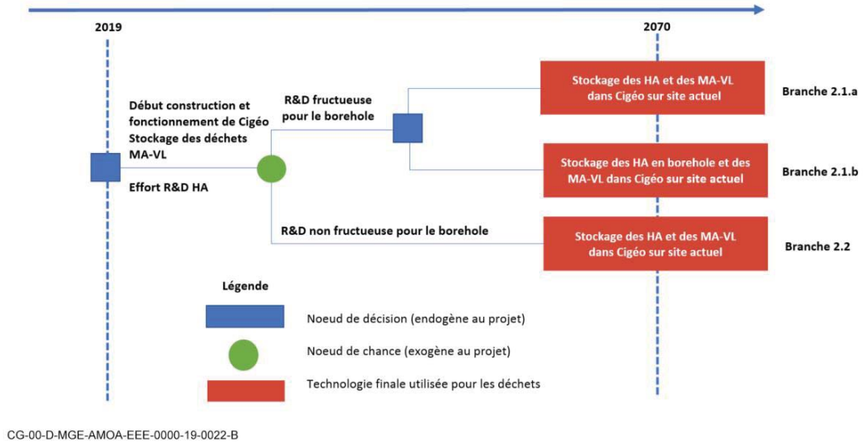


Figure 4.4-1 Arbre de décision pour l'option 2

La décision initiale comprend les principaux éléments suivants :

- La construction initiale et la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo sont réalisées, ainsi que le début du stockage pour les MA-VL, suivant le même calendrier que dans l'option de projet 1 ;
- un montant de R&D de 70 millions d'euros est investi chaque année[35] jusqu'en 2070, dans le but de trouver une technologie de mise en sécurité définitive plus efficiente que le stockage géologique profond pour les déchets HA. Pour fixer les idées, et ultérieurement, estimer le coût d'une alternative au stockage géologique profond (comme le requiert l'évaluation socioéconomique), il a été nécessaire de définir une autre technologie prospective possible. Compte tenu de l'état actuel des

[34] La solution prospective considérée dans le cadre de cette évaluation socioéconomique est le forage profond (deep borehole, indifféremment nommé ici borehole). Une définition de cette technologie est présentée dans le chapitre 4.1.3. Le choix de cette technologie est conventionnel et tient à la disponibilité de données en vue de l'évaluation monétaire qu'il est besoin de faire, ainsi qu'à l'intérêt témoigné par de nombreux pays pour cette solution.

[35] La justification du montant des 70 M€/an est détaillée dans le chapitre 5.1 du présent document.

connaissances, c'est le forage profond (deep borehole[36], appelé indifféremment borehole dans ce rapport) qui a été retenu, car il est le plus documenté ;

- en 2070, un bilan est dressé et mène à trois possibilités, représentées par les trois branches du graphique ci-dessus (2.1.a, 2.1.b et 2.2).

La branche 2.1 correspond à la situation où, suite aux efforts de R&D, une technologie prospective alternative de mise en sécurité définitive pour les HA serait trouvée. Par recherche fructueuse, il faut considérer une technologie :

- qui répondrait aux normes de sûreté françaises, incluant des études de faisabilité et un démonstrateur ;
- et pour laquelle un site d'implantation de cette technologie prospective pour les HA serait trouvé.

Cette branche 2.1 se divise ensuite en deux sous-branches, correspondant à l'arbitrage sur les coûts. A niveau de sûreté et d'efficacité équivalent, le décideur public choisira entre :

- la branche 2.1.a, revenant à stocker les déchets HA dans le centre de stockage Cigéo si la mise en place de la technologie prospective est plus coûteuse que le stockage géologique profond ;
- la branche 2.1.b, revenant à stocker les déchets HA dans la technologie prospective s'il apparaît que celle-ci est moins coûteuse que le stockage géologique profond. Dès lors, la décision est prise et l'installation de forage profond est construite, suivie également d'une phase industrielle pilote et d'une phase de fonctionnement.

La figure 4.4-2 représente le calendrier illustratif de la technologie prospective de forage profond à partir de 2070. En parallèle, le centre de stockage Cigéo continue d'être exploité jusqu'à la fin du stockage des déchets MA-VL en 2100, puis fermé entre 2100 et 2109.

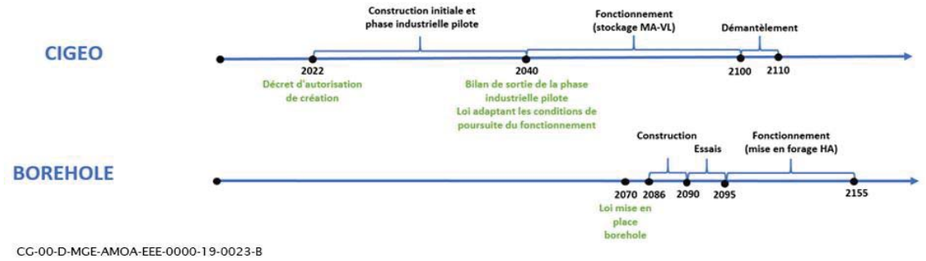


Figure 4.4-2 Calendrier illustratif de la branche 2.1.b

La branche 2.2 correspond à la situation où l'investissement en R&D réalisé jusqu'en 2070 sur les déchets HA est infructueux. Ainsi, le stockage des déchets HA est réalisé au sein du centre de stockage Cigéo, conformément au phasage défini dans l'option de projet 1, à savoir entre 2080 et 2145. Les périodes de stockage des MA-VL (entre 2040 et 2100) et de fermeture (entre 2145 et 2155) sont ici inchangées.

Au final dans l'option 2, on note que parmi les trois branches de cet arbre de décision, deux choix de configuration de gestion sont possibles :

- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo (branches 2.1.a et 2.2) ;

[36] Pour une discussion sur les technologies de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs ayant fait l'objet d'études en France et à l'international, se reporter au chapitre 2.5 et au chapitre 4.1.

- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, tandis que les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective (branches 2.1.b).

4.5 Option 3 : réalisation du centre de stockage Cigéo et parallèlement, des efforts de recherche pour les déchets HA et MA-VL

L'option 3 désigne une configuration où le décideur public décide la réalisation de la construction initiale du centre de stockage Cigéo et la phase industrielle pilote. Toutefois en 2040, il n'engage pas la phase de fonctionnement pour le stockage géologique des déchets MA-VL dans le centre de stockage Cigéo. En effet, il engage dès à présent, en même temps que les premières constructions sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne, des efforts de R&D supplémentaires pour trouver une autre solution que Cigéo pour la mise en sécurité définitive des déchets MA-VL et HA. Cet investissement se traduit par un montant annuel de R&D de 140 millions d'euros[37] jusqu'en 2070.

La décision initiale extrêmement prudente de réaliser la construction initiale et la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo permet de se prémunir du risque de perdre le site de Meuse/Haute-Marne, au cas où la recherche d'alternative au stockage géologique profond ne serait pas fructueuse[38]. Le décideur public reste donc soucieux de laisser ouverte la voie du stockage géologique profond.

La figure 4.5-1 représente l'option 3, avec ses différents nœuds de possibilités.

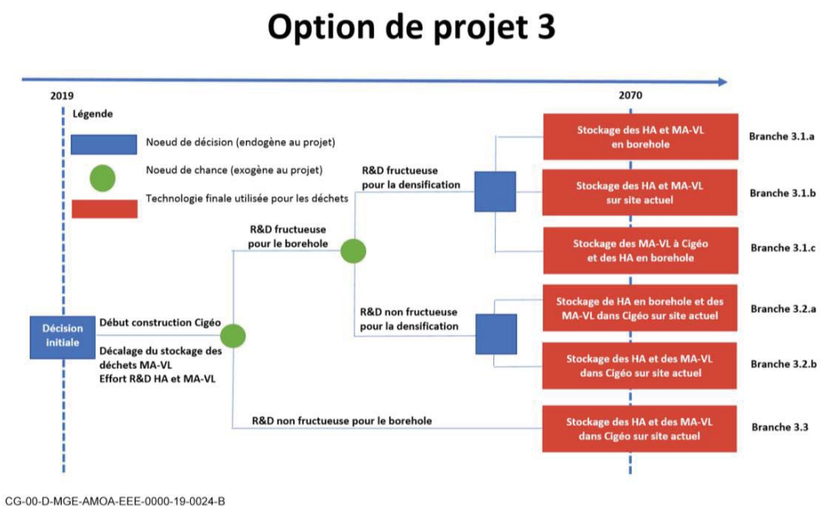


Figure 4.5-1 Arbre de décision pour l'option 3

[37] La justification du montant des 140 M€/an est détaillée dans les chapitres 5.1.4 et 5.1.5 du présent document.

[38] Comparativement au coût de la recherche d'un site et à la probabilité d'en trouver un, comme nous le verrons dans le chapitre 5, l'investissement initial du centre de stockage Cigéo se justifie. Par ailleurs, d'après les ingénieurs de l'Andra, l'investissement initial du centre de stockage Cigéo est déjà très optimisée. Enfin, la stratégie qui consiste à prendre le risque de perdre le site de Meuse/Haute-Marne est modélisée par l'intermédiaire de l'option 4.

Comme dans l'option 2, la décision initiale de l'option 3 comprend les éléments principaux suivants :

- La construction initiale et la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo sont réalisées. Contrairement aux options 1 et 2, la phase de fonctionnement de stockage des MA-VL ne démarre pas en 2040, puisqu'on se laisse jusqu'en 2070 pour qu'une chance de trouver une autre solution que le stockage géologique profond advienne. Toutefois entre 2040 et 2070, des dépenses de jouvence sont réalisées, afin de pouvoir reprendre les travaux de Cigéo immédiatement en 2070 si la R&D n'est pas fructueuse ;
- Un montant de R&D de 140 millions d'euros est investi chaque année jusqu'en 2070, dans le but de trouver une technologie prospective de mise en sécurité définitive plus efficace que le stockage géologique profond pour les déchets HA et pour les déchets MA-VL ;
  - ✓ de la même façon que dans l'option 2, dans la mesure où il conviendra, pour les besoins conventionnels de l'évaluation socioéconomique, de chiffrer les coûts des différentes branches, il est nécessaire de fixer une technologie prospective possible. Comme pour l'option 2, s'agissant des déchets HA, c'est la technologie du forage profond (deep borehole) qui est envisagée par l'évaluation socioéconomique. Pour les déchets MA-VL, à titre conventionnel, il sera fait référence à des techniques de prétraitement des colis par un processus de densification, puis à une mise en forage profond (cf. chapitre 4.1.3 du présent document pour plus d'explications sur cette technologie). En effet, les colis MA-VL sont trop volumineux pour être mis directement en forage profond ;
- en 2070, un bilan est dressé et mène à six possibilités, représentées par les six branches du graphique ci-dessus.

Les branches 3.1.a, 3.1.b et 3.1.c correspondent à la situation où la recherche est fructueuse, à la fois pour les HA et pour les MA-VL : les technologies de mise en sécurité définitive prospectives sont disponibles à un niveau de sûreté au moins équivalent à celui de l'option de projet 1 et un site est trouvé pour les mettre en œuvre. Ces branches se séparent ensuite à l'épreuve des coûts :

- **dans la branche 3.1.a**, si les technologies prospectives possibles sont moins coûteuses à mettre en œuvre que de stocker les HA et les MA-VL dans le centre de stockage Cigéo, alors la technologie prospective est mise en place : les déchets MA-VL sont densifiés, et ils sont mis en forage profond, avec les déchets HA. Notons dans ce cas que les déchets HA et MA-VL stockés dans le centre de stockage Cigéo pendant la phase industrielle pilote entre 2030 et 2040 sont retirés, et le centre de stockage Cigéo est fermé : les travaux de démantèlement ont lieu entre 2080 et 2089, avec l'hypothèse que les déchets sont retirés en 10 ans. La Figure 4.5-2 représente le calendrier illustratif de la branche 3.1.a avec le déroulement du centre de stockage Cigéo, et celui des technologies prospectives de processus de densification et de forage profond ;
- **dans la branche 3.1.b**, s'il apparaît moins coûteux de finalement mettre les déchets HA et les déchets MA-VL dans le centre de stockage Cigéo (pour lequel la construction initiale et la phase industrielle pilote ont été réalisées), plutôt que de mettre en œuvre la technologie prospective, alors la décision est prise de stocker les déchets MA-VL et les déchets HA dans le centre de stockage Cigéo. Ainsi, en 2070, les travaux reprennent dans le centre de stockage Cigéo qui est l'unique installation exploitée. Si les durées des chroniques de livraison des déchets HA et MA-VL vers le centre de stockage Cigéo (respectivement 60 ans et 65 ans) sont similaires à celles de l'option de projet 1, elles se chevauchent désormais : alors qu'elles se situaient entre 2040 et 2100 pour les MA-VL et 2080 et 2145 pour les HA dans l'option de projet 1 ; elles interviennent désormais entre 2070 et 2130 pour les MA-VL et entre 2080 et 2145 pour les HA dans la branche 3.1.b de l'option 3. Ainsi, comme dans l'option de projet 1, le centre de stockage Cigéo est fermé entre 2145 et 2155 ;
- **dans la branche 3.1.c**, s'il apparaît que la technologie prospective de densification est trop coûteuse, mais que la technologie prospective de forage est moins coûteuse que le stockage géologique profond, alors les déchets MA-VL sont stockés dans le centre de stockage Cigéo (pour lequel la construction initiale et la phase industrielle pilote ont été réalisées), et les déchets HA sont mis en forage profond.

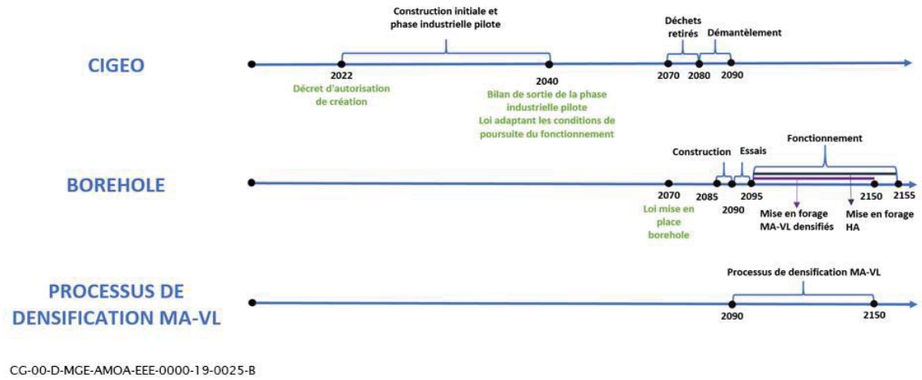


Figure 4.5-2 Calendrier illustratif de la branche 3.1.a

Les branches 3.2.a et 3.2.b correspondent à la situation où l'investissement en R&D réalisé jusqu'en 2070 est fructueux pour les déchets HA, mais infructueux pour les déchets MA-VL. A nouveau, la recherche fructueuse signifie que la technologie prospective de mise en sécurité définitive trouvée pour les déchets HA est au moins aussi sûre que le centre de stockage Cigéo et qu'un site d'implantation est trouvé. C'est alors que l'arbitrage des coûts intervient, distinguant les deux branches :

- **Dans la branche 3.2.a**, il est moins coûteux de mettre en œuvre la technologie prospective pour les HA que de les stocker dans le centre de stockage Cigéo. Dès lors, seuls les déchets MA-VL sont stockés dans le centre de stockage Cigéo (puisque la recherche sur la densification n'a pas été fructueuse), et les déchets HA sont stockés grâce à la technologie prospective, selon le même calendrier que dans le graphique ci-dessus. Pour les MA-VL, les constructions dédiées reprennent dans le centre de stockage Cigéo et les déchets y sont stockés entre 2070 et 2130 ;
- **Dans la branche 3.2.b**, malgré le succès de la recherche pour la gestion des déchets HA, sa mise en place est trop coûteuse par rapport au stockage géologique profond. Il est alors décidé de mettre les déchets MA-VL et les déchets HA dans le centre de stockage Cigéo.

Enfin, la **branche 3.3** correspond à la situation où la R&D n'est fructueuse ni pour le processus de densification, ni pour la technologie de forage profond. Ainsi, en 2070, les travaux reprennent dans le centre de stockage Cigéo qui est l'unique installation exploitée. Si les durées des chroniques de livraison des déchets HA et MA-VL vers le centre de stockage Cigéo (respectivement 60 ans et 65 ans) sont similaires à celles de l'option de projet 1, elles se chevauchent désormais : alors qu'elles se situaient entre 2040 et 2100 pour les MA-VL et entre 2080 et 2145 pour les HA dans l'option de projet 1, elles interviennent désormais entre 2070 et 2130 pour les MA-VL et entre 2080 et 2145 pour les HA dans la branche 3.3 de l'option 3 (cf. Figure 4.5-3). Ainsi, comme dans l'option de projet 1, le centre de stockage Cigéo est fermé entre 2145 et 2155.

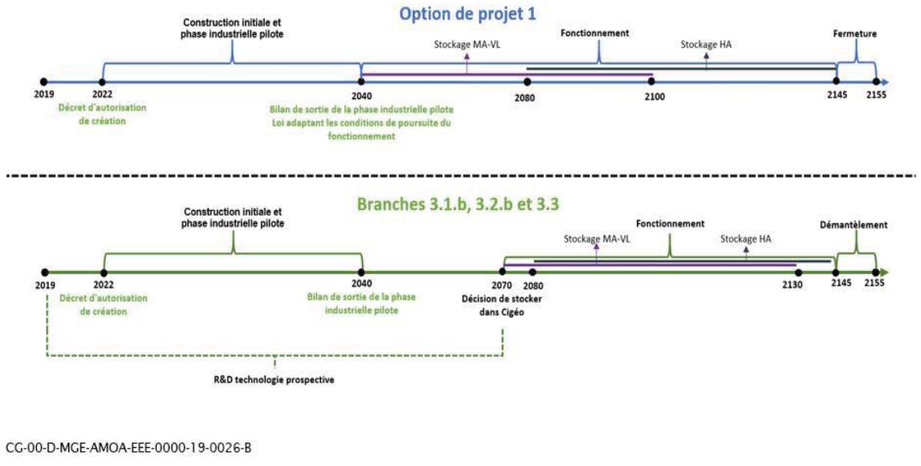


Figure 4.5-3 *Calendrier illustratif de mise en place de Cigéo en option de projet 1 et en option 3, selon les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3*

Notons l'absence d'une branche dans cette option 3, qui par symétrie aurait pu être envisagée, mais n'a toutefois pas été retenue. En effet, de la même façon qu'il existe une branche où la technologie prospective est trouvée pour les HA (niveau de sûreté équivalent à l'option de projet 1 et site disponible), mais pas pour les MA-VL (branches 3.2.a et 3.2.b), on aurait pu penser à une branche corollaire où une technologie prospective est trouvée pour les MA-VL, mais pas pour les HA.

Or, sur le plan de la logique, cette branche ne fait pas sens : en effet, l'hypothèse de recherche d'un processus de densification des MA-VL est par définition construite uniquement en vue d'une mise en forage de ces déchets par la suite, donc si elle est cherchée et opérationnelle, alors automatiquement, cela signifie que ladite technologie prospective de forage est disponible par défaut. Ainsi, si la technologie prospective de forage est disponible pour les MA-VL, elle l'est aussi pour les HA, ce qui est contradictoire avec la définition même de la branche, où on ne disposerait pas de technologie prospective pour les HA.

Au final dans l'option 3, on note ainsi que parmi les six branches de cet arbre de décision, trois configurations de gestion sont possibles :

- tous les déchets sont gérés en ayant recours à la technologie prospective (branche 3.1.a) ;
- les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, tandis que les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective (branches 3.1.c et 3.2.a) ;
- tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo (branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3).

4.6 Option 4 : efforts de recherche pour les déchets HA et MA-VL sans investissement dans le centre de stockage Cigéo

L'option 4 correspond à une configuration où le décideur public considère un report des premiers investissements du centre de stockage Cigéo : il n'engage pas la construction initiale, ni la phase industrielle pilote, et lance à la place des investissements de R&D pour tenter de trouver une solution prospective alternative de mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL. Le montant annuel de R&D s'élève à 140 millions d'euros[39] jusqu'en 2070. Les résultats de cette R&D ne sont pas garantis. Par ailleurs, le report de la décision introduit une probabilité de perte du site d'implantation du centre de stockage Cigéo en Meuse/Haute-Marne. Seules des dépenses de maintien du site [40] et de maintien des compétences sont réalisées afin de laisser ouverte la voie du stockage géologique profond ultérieurement.

En 2070, un bilan est dressé et mène aux 12 branches représentées dans la figure 4.6-1 et décrites ci-après.

[39] La justification du montant des 140 M€/an est détaillée dans le chapitre 5.1 du présent document.
[40] Les dépenses de maintien du site correspondent à des dépenses de communication, d'observations environnementales et des aides octroyées par les GIP (groupement d'intérêt public). Ces dépenses ne garantissent absolument pas que le site soit toujours mobilisable au cas où aucune solution alternative ne serait trouvée. L'ensemble de ces « coûts unitaires » est détaillé dans le chapitre 5.1 du présent document.

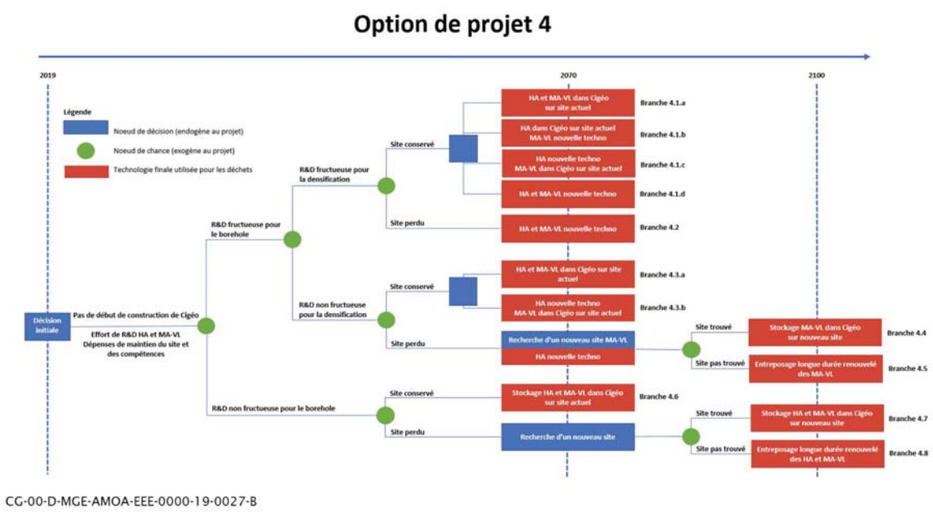


Figure 4.6-1 Arbre de décision pour l'option 4

Les branches **4.1.a à 4.1.d** correspondent à une situation où la R&D est fructueuse tant pour les HA que pour les MA-VL (technologies prospectives de mise en sécurité définitive sûres et site de stockage trouvé) et où le site de Meuse/Haute-Marne est conservé. Tout est alors possible, et la décision s'opère sur des critères de coûts :

- Dans la **branche 4.1.a**, le décideur prendra la décision de mettre les déchets HA et MA-VL dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne car la technologie de stockage en couche géologique profonde reste plus économique.
- Dans la **branche 4.1.b**, la R&D permet de trouver une solution prospective plus économique pour les MA-VL que de les stocker dans le centre de stockage de Cigéo, alors que le stockage géologique profond reste plus économique pour les déchets HA. Dans ce cas, le décideur place alors les HA dans le centre de stockage de Cigéo, tandis que les MA-VL sont gérés grâce à la technologie prospective (comme dans les autres options, par convention, on retiendra une technologie de processus de densification, puis de mise en forage profond). Pour rappel en option 3, la possibilité de mise en œuvre d'une technologie de forage profond uniquement pour les déchets MA-VL n'est pas explorée, sachant que le stockage des déchets HA se ferait en couche géologique profonde au sein du centre de stockage Cigéo. En effet au sein de l'option 3, les premières constructions sont principalement vouées au stockage des déchets MA-VL. Effectuer cet investissement avant 2070, pour *in fine* stocker ces mêmes déchets avec une technologie de forage profond représenterait ainsi une « double peine ». En option 4, la construction initiale du centre de stockage Cigéo n'est pas entreprise. Il n'y a donc pas *a priori* de « double peine ».
- Dans la **branche 4.1.c**, si la R&D permet de mettre en œuvre une technologie prospective moins coûteuse pour les déchets HA que le stockage géologique profond, mais que la technologie prospective est plus coûteuse que le stockage géologique profond pour les déchets MA-VL, alors les déchets MA-VL vont dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne, et la technologie prospective est mise en place pour les déchets HA uniquement.
- Dans la **branche 4.1.d**, si la R&D permet de trouver une technologie prospective non seulement au moins aussi efficace, mais aussi moins coûteuse que le stockage géologique profond pour les déchets HA et MA-VL, alors la technologie prospective est mise en place pour les déchets HA et pour les déchets MA-VL.

La **branche 4.2** correspond à une situation où la R&D est fructueuse tant pour les HA que pour les MA-VL (technologies de mise en sécurité définitive sûres et site de forage trouvé) et où le site de Meuse/Haute-Marne est perdu. La décision est alors univoque : les déchets HA et les déchets MA-VL sont gérés grâce à la technologie prospective quel qu'en soit le coût. Ici par convention, il s'agit du forage profond (précédé d'un processus de densification pour les seuls MA-VL).

Les **branches 4.3.a et 4.3.b** correspondent à la situation où seule la R&D pour les HA est fructueuse (technologie prospective de mise en sécurité définitive sûre et site trouvé) ; où elle est infructueuse pour les déchets MA-VL ; et où le site de Meuse/Haute-Marne est conservé. L'arbitrage de coûts distingue alors ces deux branches :

- Dans la **branche 4.3.a**, on met à la fois les déchets HA et MA-VL dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne car malgré le succès de la R&D pour les HA, la technologie prospective est plus coûteuse que le stockage géologique profond ;
- Dans la **branche 4.3.b** au contraire, la R&D donne pour les HA une technologie prospective moins coûteuse que le stockage géologique profond. Les HA sont donc stockés *via* la technologie prospective (ici par convention, le forage profond) et les déchets MA-VL sont stockés en couche géologique profonde dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne.

Les **branches 4.4 et 4.5** sont caractérisées par le fait que seule la R&D pour les HA est fructueuse (technologie prospective de mise en sécurité définitive sûre et site trouvé) ; elle est infructueuse pour les déchets MA-VL ; et le site de Meuse/Haute-Marne est perdu. Dès lors, le choix de la technologie prospective (par convention, le forage profond) est effectué en 2070. Les déchets HA sont stockés grâce à cette technologie à partir de 2091, et une recherche de nouveau site de stockage en couche géologique profonde est entreprise pour gérer les déchets MA-VL en remplacement du site de Meuse/Haute-Marne, entre 2070 et 2100 :

- Dans la **branche 4 .4**, un nouveau site est trouvé pour le stockage géologique profond des MA-VL, cette solution est alors mise en place, sur le nouveau site. Les déchets HA eux, ont été stockés grâce à la technologie prospective puisque la R&D a été fructueuse ;
- Dans la **branche 4.5**, aucun nouveau site n'est trouvé pour réaliser un stockage géologique profond en vue de stocker les déchets MA-VL. Alors que la technologie prospective alternative a été choisie pour la gestion des déchets HA à partir de 2070, les déchets MA-VL, eux, sont entreposés pour une longue durée sur leurs sites, avec renouvellement des entrepôts.

La **branche 4.6** correspond à la situation où la R&D est infructueuse pour les HA. Par convention, une technologie de forage profond était recherchée. A fortiori, elle n'est donc pas non plus fructueuse pour les MA-VL (par convention, la technologie prospective recherchée pour les MA-VL était le processus de densification puis le forage profond). Mais puisque le site de Meuse/Haute-Marne est conservé, alors la construction du centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne démarre à partir de 2070, et les déchets HA et MA-VL peuvent y être stockés ensuite.

Enfin, dans les **branches 4.7. et 4.8**, non seulement la recherche est infructueuse tant pour les HA que pour les MA-VL, mais le site de Meuse/Haute-Marne est également perdu. En 2070, une nouvelle recherche de site pour un stockage géologique profond est relancée :

- Dans la **branche 4.7.**, un nouveau site est trouvé pour un stockage géologique profond, qui est alors mis en œuvre ;
- Dans la **branche 4.8**, aucun nouveau site n'est trouvé pour réaliser un stockage géologique profond. Dès lors, le décideur est contraint à l'entreposage de longue durée renouvelé pour les déchets HA et MA-VL jusqu'à la fin de la période d'étude (2600).

Au final dans l'option 4, on note ainsi que parmi les douze branches de cet arbre de décision, huit configurations de gestion sont possibles :

- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo à partir de 2080 (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 et les déchets HA sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne à partir de 2080 (branche 4.1.b) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne à partir de 2080 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.1.c et 4.3.b) ;
- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.1.d et 4.2) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond sur un nouveau site à partir de 2100 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.4) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours à de l'entreposage de longue durée renouvelé à partir de 2100 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.5) ;
- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond sur un nouveau site à partir de 2100 (branche 4.7) ;
- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours à de l'entreposage de longue durée renouvelé à partir de 2100 (branche 4.8).

On relèvera que les branches 4.8 et 4.5 sont les seules à ne pas conduire à une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs (entreposage de longue durée renouvelé). Comme nous le verrons dans le chapitre 6, et plus tard dans le chapitre 7, l'entreposage de longue durée renouvelé, en tant que mode de gestion nécessitant l'intervention active de l'homme, est susceptible de générer des coûts supplémentaires que les solutions de mise en sécurité définitive permettent d'éviter : un coût psychologique lié au transfert du risque accidentel et à la menace de tomber dans un scénario KO. Par ailleurs, bien que contraire à la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4), cet entreposage de longue durée

renouvelé a été modélisé pour schématiser toutes les issues possibles de l'option 4. Un autre parti pris aurait pu être de modéliser des dépenses de R&D jusqu'à ce qu'une solution de mise en sécurité définitive et/ou un site afférent soient trouvés.

Toutes les options ayant été définies et décrites, il convient désormais de s'intéresser à leurs coûts et à leur calendrier de mise en place (cf. chapitre 5), ainsi qu'à leurs bénéfices (cf. chapitre 6 du présent document).

5

Quantification des coûts des différentes options

5.1 Coûts unitaires, prix relatifs, aléas et probabilité 110
5.2 Coût de l'option de projet 1 142
5.3 Coût de l'option 2 149
5.4 Coût de l'option 3 156
5.5 Coût de l'option 4 163
5.6 Récapitulatif du coût des options 178

Ce chapitre est dédié à l'estimation des coûts des différentes options décrites dans le chapitre 4. Dans la mesure où des catégories de coûts semblables se retrouvent d'une option à l'autre, ce chapitre commence avec une description de ces catégories de coûts appelés « coûts unitaires » et de ce qu'elles contiennent. Puis les chapitres 5.2 à 5.5 du présent document, décrivent et représentent graphiquement les coûts bruts des options, ainsi que les coûts actualisés et scénarisés de chacune des quatre options. Le chapitre 5.6 propose en conclusion un récapitulatif du coût des quatre options.

5.1 Coûts unitaires, prix relatifs, aléas et probabilité

Le coût de chaque option de projet est fondé sur une série de coûts unitaires[41] qui peuvent être communs d'une option à l'autre, ou d'une branche à l'autre. Ce chapitre vise à décrire ces coûts unitaires : coûts de mise en place de Cigéo, coût de la R&D, coût de recherche de site décliné dans le cas d'une technologie prospective ou dans celui d'un nouveau site pour le stockage géologique profond, coût d'une technologie prospective modélisant les coûts de mise en place et de fonctionnement lorsque cette technologie prospective concerne les déchets HA et lorsqu'elle traite les déchets MA-VL, coût d'entreposage, coût de transport des colis de déchets radioactifs, coût de maintien des compétences et coût de maintien du site de Meuse/Haute-Marne.

Le raisonnement calculatoire pour chacun de ces coûts unitaires, ainsi que leur vraisemblable évolution dans le temps (élasticité par rapport au PIB) sont détaillés ci-après dans les chapitres 5.1.1 à 5.1.11 du présent document.

Les aléas qui peuvent peser sur ces coûts sont discutés au chapitre 5.1.12 du présent document, menant à l'affectation d'une distribution probable des coûts unitaires. Enfin, le chapitre 5.1.13 concerne les probabilités de succès des chantiers de recherche entrepris dans les différentes options.

5.1.1 Coût de mise en place de Cigéo[42]

5.1.1.1 Le chiffrage de l'esquisse réalisé par l'Andra en 2014

En 2014, à la demande du ministère chargé de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, l'Andra a proposé une évaluation des coûts du projet Cigéo en phase esquisse dans les tomes 1 et 2 de son « Évaluation des coûts afférents à la mise en place des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue » (Andra (66) (67)). Cette évaluation a servi de base au coût arrêté par la Ministre (6), décrit dans le chapitre suivant et qui servira de référence pour l'analyse des coûts de Cigéo dans ce rapport.

Le chiffrage de l'esquisse réalisé par l'Andra en 2014 se base sur l'hypothèse d'inventaire de référence décrite précédemment et couvre les coûts d'investissement, de fonctionnement et de démantèlement de Cigéo, ainsi que d'autres dépenses, notamment liées à la fiscalité ou à la R&D. Les dépenses sous maîtrise d'ouvrage des producteurs de déchets, en particulier le conditionnement des déchets avant leur transport jusqu'au centre de stockage Cigéo, ne sont pas considérées dans le chiffrage esquisse de Cigéo. De plus, cette évaluation des coûts est réalisée sur la base des connaissances scientifiques et techniques actuelles et ne préjuge pas des innovations techniques futures ni des évolutions de contexte réglementaire.

---

41 Par coût unitaire, nous entendons « catégorie de coûts », ou « composantes du coût global de l'option ». Certains de ces coûts unitaires se retrouvent dans les différentes options, comme par exemple le coût de R&D, ou le coût d'une solution prospective, mais à des horizons temporels différents. Ces coûts unitaires sont estimés sur la base des informations publiques disponibles et de travaux académiques.

42 Il est rappelé ici que le terme « coût de Cigéo » utilisé dans ce rapport correspond à l'évaluation des coûts afférents à la mise en place de la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et moyenne activité à vie longue, telle qu'arrêtée par la Ministre en 2016.

Par ailleurs, le chiffrage esquisse réalisé par l'Andra considère les coûts à partir de l'année 2012 (début de la conception industrielle) et jusqu'en 2156 (fin de la fermeture et du démantèlement du centre de stockage). Les coûts estimés par l'Andra sont exprimés aux conditions économiques de 2012. À noter que dans ce chapitre les coûts ne sont pas actualisés.

Ainsi, sur un coût total d'environ 35 milliards d'euros, évalué sur la période entre 2012 et 2156, les coûts d'investissement global du projet Cigéo représentent 17 milliards, soit près de 50 %. Ces coûts sont dépensés à la fois pendant la phase de construction initiale, pendant la phase industrielle pilote, et pendant la phase de fonctionnement (extension incrémentale des installations).

Les **coûts d'investissement** sont ventilés en différentes catégories :

- Les coûts relatifs au process nucléaire. Le process nucléaire vise à assurer l'acheminement des colis de déchets radioactifs HA et MA-VL depuis leur réception en surface sur le centre de stockage jusqu'à leur emplacement de stockage en souterrain. Ce process comprend différentes opérations internes à l'installation Cigéo, comme l'accostage des hottes de transfert en surface, le transfert des colis, leur contrôle, la mise en stockage et enfin à permettre leur retrait en cas d'exigence de récupérabilité.
- Les coûts relatifs aux installations nucléaires de surface. Le premier bâtiment nucléaire, le bâtiment dit EP1, sera utilisé pour la gestion des déchets MA-VL et des déchets HA0 (les déchets HA refroidis stockés en phase industrielle pilote). Le second bâtiment nucléaire, le bâtiment dit EP2, sera construit plus tard et servira à la gestion des autres déchets HA (HA1/HA2) qui seront réceptionnés après 2080. Pour la desserte du centre de stockage Cigéo, il est prévu une installation terminale embranchée avec son terminal ferroviaire nucléaire, une zone de déchargement des convois, plusieurs zones de déchargement des emballages, une zone de réception et stockage des conteneurs, une zone de conditionnement, des zones pour les hottes, et des zones de contrôle, etc. Ainsi, selon l'esquisse, EP1 fait une surface développée d'environ 94 000 m² (celle d'EP2 étant de 63 000 m²).
- Les coûts relatifs aux installations conventionnelles de surface comprennent notamment les équipements pour les activités liées aux fonctions d'accueil des travailleurs, des visiteurs et du public, les activités de gestion administrative, les activités liées à la sécurité des personnes et des biens, etc.
- Les coûts relatifs aux liaisons surface – fond et aux ouvrages souterrains. Les liaisons entre la surface et le souterrain où est situé le stockage sont assurées par deux descenderies et par cinq puits. Les descenderies sont pour l'une dédiée au transfert des colis de déchets et pour l'autre dédiée à l'accès des équipes de sécurité. Deux des puits sont dédiés au fonctionnement de l'installation de stockage, et trois aux travaux. Le souterrain comporte des zones de soutien logistique, des galeries d'accès et des alvéoles de stockage organisées en zones : une zone de stockage MA-VL, une zone de stockage pilote HA et une zone de stockage pour les déchets HA fortement exothermiques (HA1/HA2).
- Les coûts relatifs aux installations transverses couvrent notamment les terrassements généraux du site, voiries, parkings, aires de stationnement et réseaux divers, les bâtiments de tri des déchets conventionnels, l'alimentation en électricité, etc. ;
- Les coûts relatifs aux utilités externes et aménagements hors site. Ils concernent notamment l'amenée des différentes utilités : réseaux d'eau, d'électricité, de télécommunications, et le raccordement aux réseaux routiers et ferroviaires (déviation de la route départementale 60/960 ; mise à niveau et prolongement de la ligne ferroviaire 027000) ;
- Les coûts relatifs aux conteneurs de stockage concernent, les conteneurs dans lesquels sont positionnés, le cas échéant, un ou plusieurs colis de déchets (dits colis primaires), afin de constituer des colis de stockage ;
- Les coûts relatifs au système de transfert surface – fond comprend l'équipement des descenderies avec le funiculaire, ses aménagements auxiliaires et les moyens de rapatriement de la hotte dans toutes les conditions de panne ou de dysfonctionnement.

Les **autres coûts de Cigéo** (hors investissement donc) se répartissent en 6 sous-familles :

- les coûts de maîtrise d'œuvre, actuellement estimés par l'Andra à environ 13 % de l'investissement ;
- les coûts de maîtrise d'ouvrage, dont l'assistance à maîtrise d'ouvrage règlementaire, actuellement estimés par l'Andra à environ 6 % de l'investissement ;
- les coûts d'assurance travaux ;
- les coûts de fonctionnement, qui contiennent plusieurs sous-catégories, comme le personnel, les fluides, la maintenance, etc. ;
- les coûts liés aux impôts et taxes, dont certains sont liés à l'emprise foncière du centre de stockage Cigéo (comme la taxe foncière), et d'autres sont liés à son fonctionnement (TVA, taxe de stockage, etc.) ;
- les coûts liés aux activités sous maîtrise d'ouvrage Andra (laboratoire souterrain, essais, simulation, observation de l'environnement, communication et insertion territoriale).

LA FISCALITÉ DU PROJET GLOBAL CIGÉO

Le modèle fiscal applicable au projet global Cigéo n'est pas encore défini. Lors du comité de haut niveau (CHN) du 4 octobre 2019, une réunion de lancement d'une concertation s'est tenue sous l'égide du Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo. Il s'agit de définir, avec les élus du territoire, le modèle fiscal à appliquer (modèle commun ou modèle spécifique). A l'issue de cette concertation, le gouvernement proposera au Parlement d'adopter ces dispositions dans le cadre du projet de loi de finances.

Selon le régime fiscal en vigueur, les installations du centre de stockage Cigéo sont soumises aux impôts et taxes suivantes :

- La fiscalité nationale repose sur :
  - ✓ **La taxe sur les installations nucléaires de base** (INB) est due par l'exploitant à compter de l'autorisation de création de l'installation et jusqu'à la décision de radiation de la liste des installations nucléaires de base (cf. article 43 de la loi n°99-1172 du 30 décembre 1999 de finances pour 2000).
  - ✓ **La contribution IRSN**, il s'agit d'une contribution annuelle au profit de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire due par les exploitants des installations nucléaires de base, à compter de l'autorisation de création de l'installation et jusqu'à la décision de radiation de la liste des installations nucléaires de base (cf. loi n° 2010-1658 du 29 décembre 2010 de finances rectificative pour 2010).

    Le plafonnement de la contribution économique territoriale à la valeur ajoutée (cf. définition ci-après). Cette contribution économique territoriale est plafonnée à 3 % de la valeur ajoutée produite par l'entreprise, afin de ne pas pénaliser les entreprises qui investissent (cf. article 1647 B sexies du Code général des impôts). Concrètement, une demande de dégrèvement est adressée chaque année par l'Andra à la Direction générale des entreprises afin de se faire rembourser le différentiel. Ce dégrèvement est à la charge de l'État et est donc sans impact sur les ressources des collectivités locales ; c'est une dépense pour l'État au niveau national.
- La fiscalité directe locale repose sur :
  - ✓ **La contribution économique territoriale** (CET), composée de :
    - **La cotisation foncière des entreprises** (CFE), calculée sur la valeur locative des biens fonciers (cf. article 1447 de la loi de finances).
    - **La cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises** (CVAE) est égale à une fraction de la valeur ajoutée produite par l'entreprise déterminée selon le niveau du chiffre d'affaires du groupe (cf. article 1586 ter du Code général des impôts).

- ✓ **La taxe foncière**, comprenant :
  - **La taxe foncière sur les propriétés bâties** (TFPB) (cf. articles 1380-1381 du Code général des impôts).
  - **La taxe foncière sur les propriétés non bâties** (TFPNB) (cf. article 1393 du Code général des impôts).
- ✓ **La taxe dite « de stockage ».**

  Il s'agit d'une taxe additionnelle à la taxe sur les installations nucléaires de base. Son montant est déterminé, selon chaque catégorie d'installation destinée au stockage définitif de substances radioactives, par application d'un coefficient multiplicateur (fixé par décret en Conseil d'État après avis des collectivités territoriales concernées) à une somme forfaitaire (issu du produit de la capacité du stockage par une imposition au mètre cube).

  La taxe additionnelle de stockage est due à compter de l'autorisation de création jusqu'à la fin de l'exploitation des installations concernées (cf. taxe additionnelle définie par l'article 43 modifié de la loi n° 99-1172 du 30 décembre 1999 de finances pour 2000, instaurée lors de la réforme de la taxe professionnelle).

5.1.1.2 Les 25 milliards d'euros arrêtés par la Ministre de l'Écologie du Développement durable et de l'Énergie le 15 janvier 2016, retenus comme chiffrage de base de cette évaluation socioéconomique

Dans l'optique de servir de référence au dimensionnement des provisions financières que doivent constituer les producteurs de déchets (EDF, le CEA et Orano) dans le cadre de la gestion à long terme des déchets radioactifs, un arrêté de 2016 (6) a fixé le coût afférent à la mise en place de Cigéo sur la période 2016-2156 à 25 milliards d'euros (aux conditions économiques du 31 décembre 2011). Selon l'article 2 : « Le coût fixé à l'article 1er est mis à jour régulièrement et *a minima* aux étapes clés du développement du projet (autorisation de création, mise en service, fin de la "phase industrielle pilote", réexamens de sûreté), conformément à l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire. »

L'arrêté de 2016 se base sur l'analyse par la DGEC du dossier de chiffrage de l'Andra présenté dans le chapitre précédent et des observations émises par les producteurs de déchets et par l'ASN. En particulier, le montant de 25 milliards d'euros provient du coût brut établi par l'Andra (33,8 milliards d'euros sur la période 2016-2156), dont sont retranchés plusieurs montants correspondant à l'intégration d'optimisations, notamment à très long terme, à la levée de certaines incertitudes et à une réduction de certains coûts (DGEC, 2016).

Cette prise en compte des optimisations explique ainsi pourquoi la valeur de 25 milliards d'euros retenue par l'arrêté diffère du coût estimé par l'Andra. Tout au long du projet, l'Andra « *s'attachera [...] à poursuivre sa démarche d'optimisation et de maîtrise des coûts tout en conservant l'exigence de sûreté comme priorité* » (Andra, 2015) afin d'atteindre l'objectif de coût. Ces optimisations, dont certaines sont déjà injectées, devront ainsi conduire à de nouvelles estimations du chiffrage de Cigéo, notamment à l'issue des études d'avant-projet détaillé. Ces valeurs mises à jour n'étant cependant pas encore disponibles au moment de la rédaction de ce rapport, une adaptation du chiffrage esquisse de l'Andra au coût arrêté par la Ministre (25 milliards d'euros) sera utilisée pour estimer les coûts du projet dans les différentes options et variantes.

Le chapitre suivant présente plus en détail la méthodologie utilisée dans le cadre de l'évaluation socioéconomique pour adapter le chiffrage esquisse réalisé par l'Andra aux 25 milliards d'euros arrêtés par la Ministre.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

5.1.1.3 Adaptation du coût afférent réalisé par l'Andra en 2014 aux 25 milliards d'euros arrêtés par la Ministre

Afin de modéliser l'estimation des coûts du projet Cigéo pour l'ensemble des options d'investissement étudiées dans ce rapport, l'échéancier issu de l'évaluation des coûts afférents, réalisé par l'Andra en 2014 sur la base de l'esquisse, a été adapté au chiffrage arrêté par la Ministre en 2016. En effet, le coût arrêté de la DGEC n'est pas accompagné d'un échéancier. Dans cette optique, ce rapport réalise une conversion des coûts du projet Cigéo, tranche par tranche, poste par poste, puis année par année, afin de considérer les hypothèses du coût arrêté par la Ministre à 25 milliards d'euros : à savoir, la levée d'un certain nombre d'incertitudes et l'intégration d'optimisations intervenant à long terme. Ainsi, si les coûts de la tranche 1, dite T1, restent basés sur l'estimation de l'Andra, la levée de certaines incertitudes et l'intégration d'optimisations interviennent sur les coûts de la tranche ultérieure, dite TU[43].

De ce fait, le chiffrage de 2014 réalisé par l'Andra sert de base au travail de modélisation de cette évaluation socioéconomique, avec les aménagements suivants :

- les coûts intervenant entre les années 2012 et 2015, non considérés par le ministère dans le coût arrêté, sont échoués ;
- les coûts indiqués dans l'échéancier de la tranche 1 par l'Andra, sur la période 2016-2034, demeurent inchangés ;
- les coûts indiqués dans l'échéancier de la tranche ultérieure par l'Andra, sur la période 2035-2156, sont modifiés, selon un ratio proratisant le 25 milliards d'euros.

À ce stade, il n'est pas possible d'utiliser une méthode alternative pour adapter le coût afférent de l'Andra au coût arrêté par la Ministre. Un nouveau chiffrage détaillé réalisé par l'Andra et ventilé selon un échéancier des coûts du projet pourrait amener à définir une répartition des coûts différente ultérieurement.

5.1.1.4 Coût unitaire de mise en place de Cigéo dans l'option de projet 1

Les hypothèses suivantes ont été posées pour passer au coût arrêté de 25 milliards d'euros :

- Pour la tranche 1 concernant l'ensemble des coûts entre 2016 et 2034, aucun changement n'a été effectué, soit 7 117 millions d'euros ;
- Pour la tranche ultérieure concernant l'ensemble des coûts entre 2035 et 2156, les coûts de la tranche 1 (7 117 millions d'euros) ont été retranchés de 25 milliards d'euros. On obtient ainsi 17 883 millions d'euros, soit 67 % du coût estimé par l'échéancier de l'Andra (26 738 millions d'euros) sur la période 2035-2156. On applique ensuite ce ratio à l'ensemble des lignes de coûts de Cigéo.

[43] L'année de passage de la tranche 1 (T1) à la tranche ultérieure (TU) est estimée à 2035. Elle correspond peu ou prou, dans la description du centre de stockage Cigéo faite dans le chapitre 2.4 et de l'option 1 faite dans le chapitre 4.3, au démarrage de la phase d'essais actifs.

Tableau 5.1 1 Coût esquisse et conversion vers le coût arrêté par la Ministre

Période concernée	Chiffrage esquisse de l'Andra (2014)	Objectif arrêté par la Ministre (2016) Période 2016-2156	Taux de conversion pour obtenir un échéancier prenant en compte les 25 milliards d'euros de la DGEC
2012 à 2015	656 M€$_{2012}$	Coûts échoués	-
2016 à 2034	7 117 M€$_{2012}$	7 117 M€$_{2012}$	100 %
2035 à 2156	26 738 M€$_{2012}$	17 883 M€$_{2012}$	67 %
Total 2012-2156	**34 511 M€$_{2012}$**	-	-
Total 2016-2156	**33 855 M€$_{2012}$**	**25 000 M€$_{2012}$**	-

Enfin, rappelons que l'évaluation socioéconomique se focalise sur les coûts et bénéfices à partir de sa date de réalisation en 2019[44]. Par conséquent, les coûts compris entre 2016 et 2019 sont considérés comme échoués et les valeurs monétaires sont exprimées en euros 2019.

» NOTE IMPORTANTE

Dès lors, le coût brut total de Cigéo sur la période entre 2019 et 2156 comprenant la tranche 1 et la tranche ultérieure s'élève à **25 811 millions d'euros$_{2019}$.** C'est le coût retenu pour l'option de projet 1.

5.1.1.5 Coût unitaire de mise en place de Cigéo dans les options 2, 3 et option 4

Les branches des options 2, 3 et 4 prévoient des modifications dans la mise en place de Cigéo. Hormis les branches 2.1.a et 2.2, pour lesquelles le déroulement envisagé reste identique à celui de l'option de projet 1, sept cas existent :

- Le premier cas correspond à la situation où les investissements commencent dès 2019, mais seuls les déchets MA-VL sont *in fine* stockés à partir de 2040 au sein de Cigéo ; les coûts se rapportant aux déchets HA sont retirés du calcul du coût de Cigéo. Ce cas de figure correspond à la branche 2.1.b de l'option 2, il suit un échéancier identique à celui de l'option de projet 1, mis à part pour les déchets HA de la phase de fonctionnement.
- Le deuxième cas correspond à la situation où les investissements commencent dès 2019, et seuls les déchets MA-VL sont *in fine* stockés à partir de 2070. Ce cas de figure correspond aux branches 3.1.c et 3.2.a. Dans l'arbre de l'option 3, le décideur doit attendre 2070 pour savoir si une technologie prospective est trouvée ou non ; la phase industrielle pilote est toutefois lancée dès 2030. Ainsi, les investissements sont identiques à ceux de l'option de projet 1 jusqu'en 2040. En 2040, les investissements sont suspendus, et seuls des coûts de jouvence, d'assurances, de fiscalité,

[44] Notons que les coûts échoués se basent sur la vision 2014 de l'échéancier de coût de Cigéo. Or certaines dépenses n'ont pas été effectuées, notamment sur des aménagements routiers, ferroviaires, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage. Selon l'Andra, il y aurait environ 164 M€ qui n'auraient pas été dépensés par rapport à la vision 2014. Cette dépense étant marginale par rapport aux autres ordres de grandeur de l'évaluation socioéconomique et son montant précis, non connu, nous maintenons l'échéancier initial.

de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre sont maintenus. En 2070, le stockage des déchets MA-VL peut commencer.

- Le troisième cas correspond à la situation où les investissements commencent dès 2019, les investissements sont suspendus entre 2040 et 2070, et les déchets MA-VL et HA sont *in fine* stockés aux sein de Cigéo. Ce cas de figure correspond aux branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 de l'option 3. L'échéancier de coûts est identique à celui du deuxième cas jusqu'en 2070 ; la phase de fonctionnement pour les MA-VL commence également en 2070, et celle pour les déchets HA en 2080.
- Le quatrième cas correspond à la situation où les investissements commencent dès 2019, toutefois, ni les déchets MA-VL ni les déchets HA sont *in fine* stockés au sein de Cigéo. Ce cas de Figure correspond à la branche 3.1.a de l'option 3. L'échéancier de coûts est identique à celui du deuxième cas jusqu'en 2070 ; s'en suivent 10 ans de travail afin de retirer les déchets de la phase industrielle pilote, puis 10 ans de fermeture.
- Le cinquième cas correspond à la situation où aucun investissement n'est effectué jusqu'en 2070 ou 2100, année à partir de laquelle la décision est prise de mettre en œuvre Cigéo sur le site de Meuse/Haute-Marne ou sur un site alternatif. Il correspond ainsi aux branches 4.1.a, 4.3.a, 4.6 et 4.7 de l'option 4. Ainsi, la phase de fonctionnement pour les déchets HA et MA-VL est lancée de manière concomitante, et la durée totale de fonctionnement est réduite de 105 à 65 ans. Les déchets HA sont toujours stockés sur une durée de 65 ans, et les déchets MA-VL sur une durée de 60 ans.
- Le sixième cas correspond à la situation où aucun investissement n'est effectué jusqu'en 2070, année à partir de laquelle la décision est prise de mettre en œuvre Cigéo sur le site de Meuse/Haute-Marne pour les déchets HA uniquement. Il correspond à la branche 4.1.b de l'option 4.
- Le septième cas correspond à la situation où aucun investissement n'est effectué jusqu'en 2070 ou 2100, année à partir de laquelle la décision est prise de mettre en œuvre Cigéo sur le site de Meuse/Haute-Marne ou sur un site alternatif pour les déchets MA-VL uniquement. Il correspond ainsi aux branches 4.1.c, 4.3.b et 4.4 de l'option 4. On note que ce cas diffère du deuxième cas dans la mesure où aucune suspension d'investissement n'est effectuée (la phase de fonctionnement pour les déchets MA-VL suit directement la phase industrielle pilote). Il diffère du premier cas dans la mesure où les déchets HA ne sont pas considérés comme une famille de déchets à stocker, et ce dès le lancement de l'investissement ; cela réduit le coût brut très marginalement en supprimant une catégorie d'investissement (le process HA).

Le tableau ci-dessous indique les coûts unitaires de mise en place de Cigéo selon ces différentes configurations.

Tableau 5.1-1 Coûts unitaires de mise en place de Cigéo dans les différentes branches des options 2, 3 et 4

Cas (branche)	Description	Coût
Cas de base (2.1.a et 2.2)	Déroulement identique à celui de l'option de projet 1	25 811 M€
Cas 1 (2.1.b)	Investissement à partir de 2019, MA-VL uniquement à Cigéo, fonctionnement à partir de 2040	15 110 M€
Cas 2 (3.1.c et 3.2.a)	Investissement à partir de 2019, MA-VL uniquement à Cigéo, fonctionnement à partir de 2070	16 813 M€
Cas 3 (3.1.b, 3.2.b et 3.3.)	Investissement à partir de 2019, HA et MA-VL à Cigéo, fonctionnement à partir de 2070	26 737 M€
Cas 4 (3.1.a)	Investissement à partir de 2019, ni HA ni MA-VL à Cigéo	10 571 M€
Cas 5	Investissement à partir de 2070 ou 2100, HA et MA-VL à Cigéo	25 518 M€

Cas (branche)	Description	Coût
(4.1.a, 4.3.a, 4.6 et 4.7)		
Cas 6 (4.1.b)	Investissement à partir de 2070, HA uniquement à Cigéo	16 183 M€
Cas 7 (4.1.c, 4.3.b et 4.4)	Investissement à partir de 2070 ou 2100, MA-VL uniquement à Cigéo	14 909 M€

5.1.1.6 Évolution des prix relatifs

La prise en compte de l'évolution des prix relatifs nous permet d'étudier la variation du coût des biens étudiés par rapport à l'évolution au reste de la consommation.

Afin d'étudier cette évolution, il convient d'étudier chaque composante du coût de mise en place de Cigéo :

Les coûts liés à l'investissement et au fonctionnement et, de façon indirecte, les dépenses de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage, de fiscalité et d'assurance sont assimilés à des flux de type génie civil. Pour rappel, les élasticités au PIB des dépenses assimilées au génie civil, définies au chapitre 3.2.3.2 du présent document, sont les suivantes :

- Pour le scénario OK :
  - ✓ jusqu'en 2070, l'élasticité est de 1,5 pour l'hypothèse haute, 0,8 pour l'hypothèse intermédiaire et 0,1 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ entre 2070 et 2170, une décroissance linéaire vers 0,3 pour l'hypothèse haute et vers 0,2 pour l'hypothèse intermédiaire ; un maintien de l'élasticité à 0,1 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ Après 2170, un maintien des élasticités à leur valeur de 2170, soit 0,3 pour l'hypothèse haute, 0,2 pour l'hypothèse intermédiaire et 0,1 pour l'hypothèse basse.
- Pour le scénario KO :
  - ✓ en 2019, l'élasticité est de 1,5 pour l'hypothèse haute, 0,8 pour l'hypothèse intermédiaire et 0,1 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ entre 2019 et 2100, une décroissance linéaire vers 0,3 pour l'hypothèse haute et vers 0,2 pour l'hypothèse intermédiaire ; un maintien de l'élasticité à 0,1 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ après 2100, un maintien des élasticités à leur valeur de 2100, soit 0,3 pour l'hypothèse haute, 0,2 pour l'hypothèse intermédiaire et 0,1 pour l'hypothèse basse.

Les coûts liés aux dépenses sous maîtrise d'ouvrage Andra, qui regroupent des dépenses de recherche sur site (comportant notamment, les dépenses de fonctionnement du laboratoire souterrain), de communication et d'insertion territoriale sont assimilés à des flux de type recherche et maintien des compétences.

Pour rappel, les élasticités au PIB des dépenses assimilés à la recherche et au maintien des compétences, définies au chapitre 3.2.3.2 du présent document, sont le suivantes :

- Pour le scénario OK :
  - ✓ jusqu'en 2070, l'élasticité est de 1 pour l'hypothèse haute, 0,5 pour l'hypothèse intermédiaire et 0 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ entre 2070 et 2170, une décroissance linéaire vers 0,1 pour l'hypothèse haute et vers 0,05 pour l'hypothèse intermédiaire ; un maintien de l'élasticité à 0 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ après 2170, un maintien des élasticités à leur valeur de 2170, soit 0,1 pour l'hypothèse haute, 0,05 pour l'hypothèse intermédiaire et 0 pour l'hypothèse basse.

- Pour le scénario KO :
  - ✓ en 2019, l'élasticité est de 1 pour l'hypothèse haute, 0,5 pour l'hypothèse intermédiaire et 0 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ entre 2019 et 2100, une décroissance linéaire vers 0,1 pour l'hypothèse haute et vers 0,05 pour l'hypothèse intermédiaire ; un maintien de l'élasticité à 0 pour l'hypothèse basse ;
  - ✓ après 2100, un maintien des élasticités à leur valeur de 2100, soit 0,1 pour l'hypothèse haute, 0,05 pour l'hypothèse intermédiaire et 0 pour l'hypothèse basse.

5.1.2 Coût de R&D

5.1.2.1 Coût unitaire

Le coût unitaire de recherche et développement (R&D) intervient dans les options 2, 3 et 4, lorsqu'une recherche prospective visant à trouver une technologie de mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL est engagée.

S'agissant de l'estimation de ce coût unitaire de R&D, des hypothèses ont dû être réalisées pour déterminer un montant crédible. Un investissement de 70 millions d'euros par an et par type de déchets (HA ou MA-VL) entre 2019 et 2070 a été retenu dans le cadre de cette évaluation.

Cette valeur s'appuie sur le fait qu'en France, les activités de recherche réalisées dans le cadre de la loi « Bataille » entre 1991 et 2006 sur les 3 axes de recherche (cf. chapitre 2.3 : séparation/transmutation, stockage géologique profond et entreposage de longue durée) ont donné lieu à 2,5 milliards d'euros de dépenses, soit 55 millions d'euros par an et par axe. Par conséquent, du fait de l'inflation, une valeur de référence de 70 millions d'euros par an de R&D est prise pour trouver une technologie prospective et s'assurer que celle-ci soit compatible avec les règles fondamentales de sûreté.

Ainsi, dans un souci de simplification, le coût unitaire de la R&D de 70 millions d'euros par an est retenu dans l'option 2, lorsque l'effort de recherche est limité aux seuls déchets HA, même si ce choix est vraisemblablement conservateur. Dans les options 3 et 4, lorsque l'effort de recherche est appliqué pour trouver des technologies prospectives à la fois pour les déchets HA et pour les déchets MA-VL, 140 millions d'euros sont investis chaque année, dès 2019 et jusqu'en 2070. Cette hypothèse se veut schématique. À défaut d'hypothèse d'évolution de ce genre de dépense dans le temps, celle-ci est considérée constante sur la période 2019-2070.

5.1.2.2 Évolution des prix relatifs

Les dépenses de R&D sont assimilées à des flux de type recherche et maintien des compétences.

Consulter le chapitre 3.2.3 du présent document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.3 Coût de recherche de site

5.1.3.1 Rappel des circonstances possibles de recherche d'un site

Le coût unitaire de recherche de site intervient dans deux situations distinctes :

- Lorsque la R&D a permis d'identifier une technologie prospective de mise en sécurité définitive au moins aussi sûre que le stockage en couche géologique profonde et qu'il s'agit de trouver un site d'implantation adapté à cette technologie pour qualifier la R&D de fructueuse (possiblement dans les options 2, 3 et 4) ;

- Lorsque le site actuel de Meuse/Haute-Marne est perdu et qu'il est nécessaire de rechercher un nouveau site d'implantation pour le stockage géologique profond. Cette configuration correspond à certaines des branches de l'option 4, où le décideur public considère un report des premiers investissements du centre de stockage Cigéo (ni construction initiale du centre de stockage Cigéo ni de phase industrielle pilote) et lance à la place des investissements de R&D et s'expose de fait au risque de perdre le site de Meuse/Haute-Marne. Une fois la période de R&D terminée en 2070, dans le cas où celle-ci serait infructueuse et où le site de Meuse/Haute-Marne serait perdu, une nouvelle recherche de site pour implanter un stockage géologique profond est lancée.

Pour estimer ces coûts de recherche de site d'implantation, le chapitre 5.1.3.2 propose un retour d'expérience de plus de 30 ans concernant la recherche de site qui a abouti au site actuel de Meuse/Haute-Marne. Sur la base de données chiffrées de ce retour d'expérience, une estimation du coût de recherche de site pour une technologie prospective est avancée (cf. chapitre 5.1.3.3 du présent document), ainsi qu'une estimation du coût de recherche d'un nouveau site pour un stockage géologique profond (cf. chapitre 5.1.3.4 du présent document).

5.1.3.2 Retour d'expérience de la recherche du site actuel de Meuse/Haute-Marne

Historiquement, après une dernière campagne d'immersion sous-marine de déchets radioactifs[45] en 1969, les recherches techniques et de sites liées à la solution de stockage géologique profond ont débuté en France dans les années 1970. Les informations sur cette première période sont difficiles d'accès et leur extrapolation à une nouvelle recherche de site s'avère complexe et limitée. Elles deviennent plus clairement identifiables à partir de 1992, à la date de promulgation de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 dite loi « Bataille » (22).

Le décret d'autorisation de création marquera la sécurisation complète du site d'implantation et de la solution proposée ; il est donc retenu dans cette évaluation pour marquer l'aboutissement des recherches de site pour l'actuel projet de centre de stockage Cigéo.

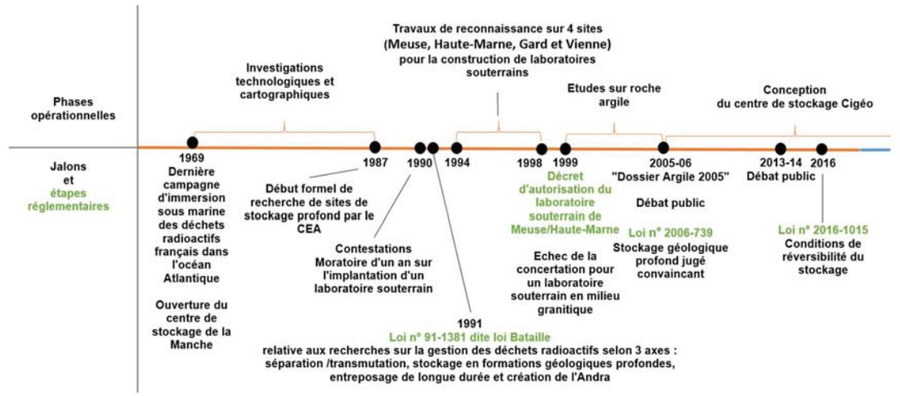
Les principaux acteurs impliqués dans la recherche et la sécurisation de site sont :

- l'Andra (et auparavant le CEA), qui articule les recherches, organise les études permettant de recueillir les éléments de justification et de démonstration, et accompagne le processus de sélection des sites jusqu'au choix d'implantation ;
- les organismes chargés d'évaluer, d'instruire et de rendre un avis sur les questions relatives à la sûreté nucléaire (CNE, IRSN, et l'autorité de contrôle ASN) ;
- l'État, qui décide de l'approbation ;
- et les Groupements d'intérêts publics (GIP), qui veillent à l'accompagnement économique du territoire sur le site d'implantation.

La frise ci-dessous décrit le calendrier de recherche de site.

[45] À noter que ces immersions n'ont pas concerné de déchets HA ou MA-VL.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0028-B

Figure 5.1-1 Historique des éléments constitutifs de la recherche et la sécurisation du site de Meuse/Haute-Marne

Selon le retour d'expérience, le coût de recherche du site de Meuse/Haute-Marne s'établit sur la base du récapitulatif des dépenses déjà engagées (1983-2019) et des dépenses futures à engager (2020-2025). La fin de cette période de retour d'expérience est calée par l'obtention du décret d'autorisation de création, autorisant le démarrage des travaux de construction initiale, et concrétisant le choix du site de stockage géologique profond :

- Dépenses déjà engagées :

  Les coûts liés au site de Meuse/Haute-Marne sur la période 1983-2019 peuvent être segmentés en plusieurs catégories :

  - ✓ les **dépenses courantes antérieures à la loi de 1991** concernent des investigations technologiques et géographiques menées par le CEA, puis par l'Andra, entre 1983 et 1991. Il s'agit de dépenses de recherches sur la technologie de stockage en couche géologique profonde et de dépenses de recherche sur l'implantation de ce stockage. Les dépenses engagées sur cette période atteignent 234 millions d'euros$_{2019}$.
  - ✓ les **recherches géologiques et de construction d'un laboratoire souterrain**, entre 1992 et 2006. Les opérations menées par l'Andra sur cette période relativement longue de quinze ans se composent :
    - des « études scientifiques, d'ingénierie et évaluation de sûreté » ;
    - des « travaux de reconnaissance sur 4 sites : Meuse, Haute-Marne, Gard et Vienne » à partir de 1994 ;
    - des « études sur les roches granitiques » entre 1999 et 2006 ;
    - et de la construction et utilisation du « Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne » à partir de 1999.

    En raison de l'absence d'indications concernant l'étalement précis de dépenses correspondant à chaque opération, celles-ci sont comptabilisées en un seul poste de dépense, dont le total atteint plus de 1,2 milliard d'euros$_{2019}$.
  - ✓ les **recherches appliquées à Cigéo**[46], entre 2007 et 2019 : les dépenses de ce poste font référence à des opérations de démonstration de la faisabilité du stockage profond (Dossier 2005 de l'Andra), puis de caractérisation du site et de choix d'implantation de 2007 à 2012, avant de préciser le contour du projet Cigéo dans les études d'esquisse (2013) et d'avant-projet jusqu'en 2020, ainsi que la réalisation de démonstrateurs. Ce poste de dépenses atteint plus de 1,2 milliard d'euros$_{2019}$.
  - ✓ la **conception de Cigéo**, entre 2007 et 2019 : ce poste, de 693 millions d'euros$_{2019}$, fait référence aux coûts inhérents à la conception de la solution pérenne de stockage géologique profond sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne. Il comprend également les dépenses liées à la préparation et à l'instruction des dossiers règlementaires d'autorisation.
  - ✓ **l'accompagnement économique** entre 1994 et 2000 concerne les 4 départements candidats jusqu'en 1999 environ, puis seulement la Haute-Marne et la Meuse ensuite. Il atteint près de 30 millions d'euros$_{2019}$.
  - ✓ le **repli des sites non sélectionnés**, entre 1999 et 2000 : ces dépenses de plus de 6 millions d'euros$_{2019}$ font référence aux coûts de dédommagement suite au retrait des sites (Gard et Vienne), du fait de la démobilisation des personnels, l'indemnisation des prestataires, etc. ;
  - ✓ les **groupements d'intérêts publics (GIP)**[47], entre 2000 et 2019, concernant à la fois le GIP Objectif Meuse et le GIP Haute-Marne. L'accompagnement économique attribué par les groupements d'intérêts publics aux acteurs sur le territoire concernent essentiellement les subventions aux communes les plus proches (distance inférieure à 10 km) et les subventions ou prêts attribués à des porteurs de projets publics ou privés. Le coût des groupements d'intérêts publics est estimé à 812 millions d'euros sur la période 2000-2019.

[46] Cf. les rapports financiers de l'Andra disponibles pour chaque année sur https://www.andra.fr/publications?f%5B0%5D=facet_doc_cat%3A224, sous le compte « fonds recherche » (68).
[47] Cf. les rapports d'activités du GIP Objectif Meuse disponibles pour chaque année sur https://www.objectifmeuse.org/documents-telechargeables/ (69) et les comptes financiers du GIP Haute-Marne, annexés aux procès-verbaux des assemblées générales disponibles pour chaque année sur https://www.gip-haute-marne.fr/documents.html (70).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

- Dépenses futures à engager :

  Les dépenses futures à engager sont considérées à partir de 2020. Elles interviennent jusqu'à la concrétisation du choix du site de stockage géologique profond, représentée par l'obtention du décret d'autorisation de création, préalable au démarrage des travaux de construction initiale. Il convient donc de projeter les coûts à venir, jusqu'en 2025.

  Nous supposons que les postes suivants sont concernés :

  - ✓ les **recherches appliquées à Cigéo :** le montant des dépenses est estimé à 444 millions d'euros, par régression linéaire, sur la période 2020 à 2025 ;
  - ✓ la **conception de Cigéo :** le montant des dépenses est estimé à 1 163 millions d'euros, par régression linéaire, sur la période 2020 à 2025 :
  - ✓ les **groupements d'intérêts publics :** l'hypothèse est ici posée de poursuite du montant alloué à chacun des deux groupements d'intérêts publics (GIP Objectif Meuse et GIP Haute-Marne) correspondant à une dépense annuelle de 30 millions d'euros par groupement d'intérêt public entre 2019 et 2025. Le chapitre 5.1.8 fournit des précisions sur ce que contiennent les GIP.

Le tableau ci-après détaille les différentes catégories du coût de recherche du site actuel de stockage géologique profond, des premières investigations à l'obtention du décret d'autorisation de création :

Tableau 5.1-2 Estimation du coût de recherche du site actuel de stockage géologique profond, des premières investigations à l'obtention du décret d'autorisation de création

Catégories de coûts	Dépenses déjà engagées (1983-2019)	Dépenses à engager (2020-2025)	Montant total (1983-2025)
Dépenses courantes antérieures à la loi de 1991	234 M€	-	234 M€
Recherches géologiques et de construction d'un laboratoire souterrain	1 270 M€	-	1 270 M€
Recherches appliquée à Cigéo (fonds recherche)	1 281 M€	444 M€	1 725 M€
Recherches appliquée à Cigéo (fonds conception)	693 M€	1 163 M€	1 856 M€
Accompagnement économique avant les GIP	30 M€	-	30 M€
Repli des sites non-sélectionnés	6 M€	-	6 M€
Groupements d'intérêts publics	812 M€	360 M€	1 172 M€
Total	**4 326 M€**	**1 967 M€**	**6 293 M€**

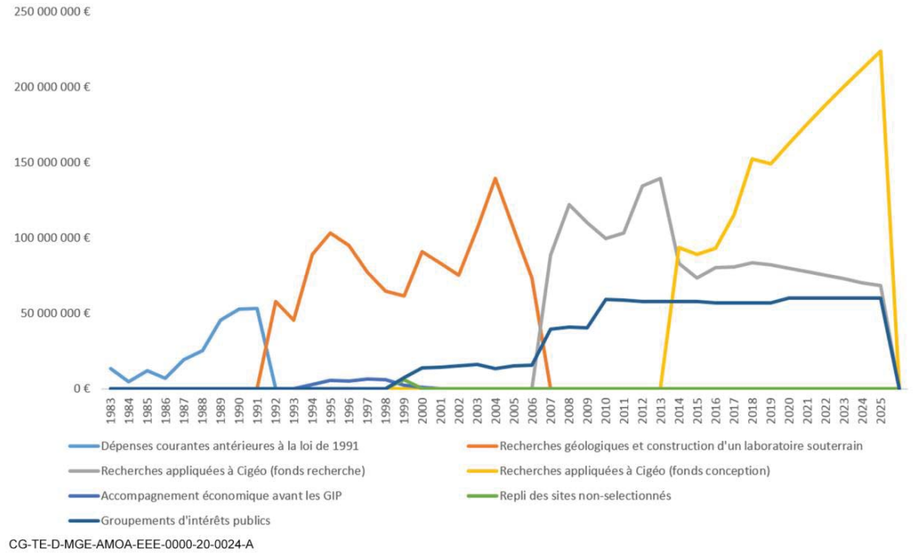


Figure 5.1-2 *Historique et projection des coûts de recherche de site pour le site de Meuse/Haute-Marne*

NOTE IMPORTANTE

Selon le retour d'expérience établi, l'estimation du coût de recherche du site actuel de Meuse/Haute-Marne s'élève à un montant de 6 293 millions d'euros$_{2019}$, sur une période de plus de quarante ans, entre 1983 et 2025.

5.1.3.3 Coût de recherche de site pour une technologie prospective

Le coût de recherche de site pour une technologie prospective se base sur le retour d'expérience du site actuel de Meuse/Haute-Marne dans le cadre du stockage géologique profond.

Afin d'adapter au mieux cette estimation au cas d'une technologie prospective, nous segmentons cette recherche en deux phases, selon la frise présentée dans la Figure 5.1-1 :

- **La phase 1** correspond à la période initiale, comprise entre 1983 et 2006, depuis les premières investigations jusqu'à la loi relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Cette phase est représentative des efforts de recherche nécessaires pour disposer d'un site et d'un laboratoire souterrain dédié à l'étude des caractéristiques géologiques et des moyens technologiques de qualification des travaux souterrains. Ainsi, cette phase inclut les investigations préliminaires technologiques et cartographiques, les premières et secondes recherches de site par le CEA, puis par l'Andra, ainsi que la construction et le début du fonctionnement du laboratoire souterrain ;
- **La phase 2** correspond à la période entre 2007 et 2025, depuis que le laboratoire souterrain est achevé et jusqu'au décret d'autorisation de création. Cette phase est représentative des investigations approfondies nécessaires à la conception des installations de stockage géologique profond sur son site d'implantation. Les dépenses considérées comprennent les coûts de

fonctionnement du laboratoire souterrain, de conception des installations et d'accompagnement économique des territoires par les groupements d'intérêts publics.

Le tableau ci-après reprend les différentes catégories du coût de recherche du site actuel de Meuse/Haute-Marne prévu pour le stockage géologique profond, des premières investigations jusqu'à l'obtention du décret d'autorisation de création, et distingue des dépenses selon les phases :

Tableau 5.1-3 *Estimation du coût de recherche du site de Meuse/Haute-Marne, des premières investigations à l'obtention du décret d'autorisation de création*

Catégories de coûts	Phase 1 (1983-2006)	Phase 2 (2007-2025)	Montant total (1983-2025)
Dépenses courantes antérieures à la loi de 1991	234 M€	-	234 M€
Recherches géologiques et de construction d'un laboratoire souterrain	1 270 M€	-	1 270 M€
Recherches appliquée à Cigéo (fonds recherche)	-	1 725 M€	1 725 M€
Recherches appliquée à Cigéo (fonds conception)	-	1 856 M€	1 856 M€
Accompagnement économique avant les GIP	30 M€	-	30 M€
Repli des sites non-sélectionnés	6 M€	-	6 M€
Groupements d'intérêts publics	112 M€	1 060 M€	1 172 M€
Total	**1 652 M€**	**4 641 M€**	**6 293 M€**

Afin d'adapter l'estimation du coût de recherche de site du cas du stockage géologique profond à celui d'une technologie prospective, nous posons l'hypothèse d'un taux de récurrence de 100 % du coût de recherche de site, soit un coût total d'environ 6 293 millions d'euros. Ce taux de récurrence signifie que toutes les opérations conduites dans le cas de la recherche de site pour le stockage géologique profond, le seront également dans le cas de la recherche d'un site d'implantation pour une technologie prospective.

NOTE IMPORTANTE

Le coût de recherche de site pour une technologie prospective est estimé selon le retour d'expérience du site actuel de stockage géologique profond et s'établit à un montant de 6 293 millions d'euros$_{2019}$, correspondant à 1 652 millions d'euros pour la phase 1 et 4 641 millions d'euros pour la phase 2.

Dans la modélisation des options, nous posons l'hypothèse que les dépenses de la première phase de recherche de site (correspondant aux dépenses nécessaires pour identifier et disposer d'un site, ainsi que de la mise en place d'un laboratoire souterrain) sont engagées en même temps que les dépenses de R&D fondamentale pour trouver cette même technologie. La deuxième phase (de recherche approfondie sur site) n'est engagée qu'une fois un site identifié et la décision de mise en œuvre d'une technologie prospective actée, soit en 2070 pour la plupart des branches des options étudiées.

Pour rappel, dans le cas des déchets HA, la technologie prospective envisagée est une technologie de type forage profond, dont les contours techniques sont déjà définis (cf. chapitre 4.1.3 du présent

document). Le lancement d'une recherche de site (notamment cartographique) à très court-terme simultanément avec la R&D ne paraît donc pas aberrant. Pour rappel, la recherche de site dans le cas du stockage géologique profond a commencé dès le début des années 1980.

Dans le cas des déchets MA-VL, la technologie prospective envisagée est un processus de densification préalable au stockage par forage profond. Nous posons l'hypothèse qu'une seule recherche est effectuée pour la mise en place du forage pour les déchets HA et MA-VL. Implicitement, nous avons donc fait l'hypothèse que les HA et MA-VL seraient stockés dans un même site en s'appuyant sur des forages profonds et que la densification des MA-VL serait effectuée sur le site, en surface, ce qui évite des transports. Une sensibilité des résultats à une modification de ce coût est réalisée, *via* les simulations de Monte-Carlo.

5.1.3.4 Coût de recherche d'un nouveau site pour le stockage géologique profond

L'intérêt d'établir le retour d'expérience du site actuel de Meuse/Haute-Marne réside également dans l'extrapolation que l'on peut en faire pour estimer le coût de recherche d'un nouveau site de stockage en couche géologique profonde. Cette situation de perte du site actuel, intervient dans l'option 4, au sein des branches 4.4, 4.5, 4.7 et 4.8.

Selon le retour d'expérience, la phase 1, qui couvre la période d'investigations préliminaires nécessaires au choix d'implantation de site, incluant la construction d'un laboratoire souterrain, s'élève à un montant de 1 652 millions d'euros.

La phase 2 couvre la période d'investigations approfondies nécessaire à la conception des installations de stockage géologique profond sur son site d'implantation. Le montant des dépenses de cette phase 2 s'élève à un montant de 4 641 millions d'euros.

L'extrapolation de ce retour d'expérience vers les coûts de recherche d'un nouveau site de stockage géologique profond nécessite de discuter de la récurrence des dépenses. Plusieurs arguments militent en faveur d'un taux de récurrence élevé, pour les motifs suivants :

- la difficulté de trouver un site pour gérer des déchets radioactifs, tant en terme de conditions géologiques favorables que d'acceptabilité locale (cf. les difficultés récentes pour trouver un site pour les déchets FA-VL) ;
- la nécessité probable d'exploiter un deuxième laboratoire souterrain, en plus du laboratoire souterrain actuel ;
- la nécessité de refaire l'ensemble des études techniques et scientifiques sur un nouveau site.

Le taux de récurrence des dépenses hors accompagnement et GIP est estimé à 80 %, en raison d'éventuelles économies d'échelle qui pourraient être réalisées. Ne pas postuler une récurrence de 100 % sur l'ensemble des postes de dépenses permet de ne pas rendre artificiellement coûteuses certaines branches de l'option 4. Les coûts supplémentaires liés à l'accroissement des normes sont pris en compte par le biais des prix relatifs.

Par ailleurs, en cas de besoin de recherche d'un nouveau site de stockage géologique profond, pour éviter un double compte, on ne tiendra pas compte des dépenses de recherche (fonds recherche et conception) entre 2020 et 2025, puisque celles-ci sont déjà prises en compte dans les coûts de mise en place de Cigéo (cf. catégorie « coûts sous maîtrise d'ouvrage Andra »).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

Tableau 5.1-4 Extrapolation du coût de recherche d'un nouveau site pour le stockage géologique profond

Catégories de coûts	Phase 1 (1983-2006)	Phase 2 (2007-2025)	Montant total (1983-2025)
Dépenses courantes antérieures à la loi de 1991	187 M€	-	187 M€
Recherches géologiques et de construction d'un laboratoire souterrain	1 016 M€	-	1 016 M€
Recherches appliquée à Cigéo (fonds recherche)	-	1 024 M€	1 024 M€
Recherches appliquée à Cigéo (fonds conception)	-	554 M€	554 M€
Accompagnement économique avant les GIP	30 M€	-	30 M€
Repli des sites non-sélectionnés	5 M€	-	5 M€
Groupements d'intérêts publics	112 M€	1 060 M€	1 172 M€
Total	**1 350 M€**	**2 638 M€**	**3 988 M€**

» NOTE IMPORTANTE

Le coût brut de recherche d'un nouveau site de stockage géologique profond est ainsi estimé à près de 4 milliards d'euros$_{2019}$.

Comme pour le cas de la recherche d'un site pour une technologie prospective, la phase 1 de recherche de site est lancée en premier, dès le choix du décideur d'engager des efforts de recherche pour l'identification d'un nouveau site ; la phase 2 de recherche approfondie sur site n'est engagée que dans le cas où un site est identifié.

5.1.3.5 Évolution des prix relatifs

Le coût de recherche d'un nouveau site est assimilé à des flux de type recherche et maintien des compétences.

Consulter le chapitre 3.2.3 du présent document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.4 Coût d'une technologie prospective pour les déchets HA

5.1.4.1 Coût unitaire

Le coût unitaire d'une technologie prospective désigne le coût de la mise en place de cette technologie prospective, comprenant des phases d'essais, de fonctionnement et de démantèlement.

Dans les différentes options de cette évaluation socioéconomique, ce coût unitaire s'articule avec le coût unitaire de la R&D et le coût unitaire de recherche de site, afin de modéliser au mieux le processus de mise en place d'un choix de gestion de mise en sécurité définitive.

Afin d'estimer le coût unitaire de cette technologie prospective, il est nécessaire de l'illustrer par un choix conventionnel visant à répondre aux besoins de l'évaluation socioéconomique. Il s'agit du forage profond, technologie prospective également connue sous le nom anglais de deep borehole[48]. Il est important de souligner que ce choix conventionnel ne laisse pas présager d'une réouverture des choix possibles, compte tenu du moment de réalisation de cette évaluation socioéconomique par rapport à l'ensemble du processus légal entourant le choix de réaliser le centre de stockage Cigéo.

Par ailleurs, si le chiffrage du coût de la technologie illustrative est réalisé sur la base d'une documentation publique internationale, la maturité industrielle de la technologie considérée reste prospective et ancrée à un stade théorique. Il en a été de même dans le contexte français pour la technologie de stockage en couche géologique profonde, pour laquelle un fort investissement de recherche (études approfondies au contexte français de type études de faisabilité, études de développement industriel, mise en place d'un laboratoire souterrain de caractérisation) a été nécessaire pour dépasser ce stade théorique et atteindre un stade ultérieur d'application et de démonstration.

L'estimation faite dans cette évaluation socioéconomique se base sur la thèse d'Allen Bates (65), soutenue en 2015 au Massachusetts Institute of Technology. Allen Bates décrit « spent nuclear fuel (SNF) is isolated at depths of several kilometers in basement rock ». Le principe de cette technologie de forage profond est donc de stocker des encapsulations d'assemblages de combustibles usés dans un puit vertical de très grande profondeur, de l'ordre de 3 à 5 kilomètres, afin de positionner les déchets dans la partie inférieure du puit, au niveau du socle cristallin.

Selon Bates, l'estimation du coût de forage profond concerne ainsi des encapsulations d'assemblages de combustibles usés, et non des déchets vitrifiés comme dans le cas français, et repose sur :

- les coûts de caractérisation de site : cartographie de la structure géologique de grande profondeur, relevé sismique, propriétés hydrauliques et mécaniques, etc. Ces coûts sont distincts des coûts de recherche de site pour une technologie prospective (cf. chapitre 5.1.3.3 du présent document), qui n'intègrent pas la caractérisation géologique du forage profond à plusieurs kilomètres de profondeur.
- les coûts de forage des puits verticaux ;
- les coûts de mise en forage : descente des déchets dans le forage profond.

Le coût intermédiaire estimé par Bates est d'environ 135 $/kg HM (kilogram of heavy metal, soit en français, kilogramme de métal lourd : kg ML), soit 136 €/kg ML.

Tableau 5.1-5 Estimation du coût du forage profond aux États-Unis d'Amérique

Coût estimé par Bates	En $2012 par kg ML	En € 2019 par kg ML[49]
Fourchette haute	190,6 $	192,9 €
Fourchette intermédiaire	134,7 $	136,3 €
Fourchette basse	44,5 $	45,0 €

[48] Voir le chapitre 2 pour une discussion des technologies alternatives envisagées par le passé et à l'étranger. Voir le chapitre 4 pour l'explication du choix de forage profond comme technologie prospective pour les déchets HA et de densification puis de mise en forage profond pour les déchets MA-VL, qui sont des choix conventionnels visant à répondre à l'évaluation socioéconomique, mais qui ne laissent pas présager d'une réouverture des choix possibles.

[49] Taux de change 2012 $/€ de 0,94 et inflation cumulée 2012 / 2019 de 7,7 % (Insee), soit un coefficient d'évolution $2012/€2019 de 1,012.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

L'utilisation de la fourchette intermédiaire dans cette évaluation socioéconomique se veut conservatrice et prudente. En effet différents éléments auraient pu militer pour l'estimation d'un coût supérieur :

- Les importantes variations de coût entre un premier forage exploratoire et une technique de forage industrialisée, ne sont pas prises en compte ici ;
- La complexité technologique d'un forage augmentant avec le diamètre, le coût volumique de la technologie prospective de forage profond va croître avec le diamètre utilisé (en tenant compte non seulement de la partie utile du forage située dans la partie inférieure, mais aussi de la partie supérieure non utilisée pour le stockage). Alors que l'étude de Bates considère des encapsulations d'assemblages de combustibles usés de faible diamètre (0,3 mètre), les colis de déchets HA ont des diamètres deux fois plus élevés, influant directement sur le diamètre des puits qui seraient à considérer ;
- Enfin, si les coûts de Bates sont étayés, ils sont emprunts de fortes incertitudes en raison de l'absence de démonstrateur industriel.

D'un autre côté, il est rappelé que les 70 années de R&D prévues dans les options 2, 3 et 4 avant de décider le cas échéant de mettre en place la technologie prospective, ont bien pour objectif de résoudre les incertitudes et de répondre aux problématiques technologiques.

La fourchette intermédiaire de coût étant retenue, il convient de convertir, dans la mesure du possible, le coût du forage pour le stockage des combustibles usés américains en un coût de forage pour les déchets vitrifiés français. Pour ce faire, nous avons considéré comme caractéristique dimensionnante, l'inventaire radiologique (ou terme source) des produits de fission et d'actinides mineurs produits lors de l'utilisation des combustibles nucléaires dans les réacteurs. Nous avons fait l'hypothèse que ce terme source est invariant entre le combustible usé en sortie de réacteur et les déchets vitrifiés produits lors du retraitement du combustible usé. À titre illustratif, selon le rapport du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire portant sur la « Présentation du « cycle du combustible » français en 2018 » (71), il est précisé que le traitement de 1 080 tonnes de métaux lourds de combustible usé produit 826 colis primaires HA (de type CSD-V[50]) pour un volume correspondant à 147 m^3.

Par conséquent, pour un volume de 10 045 m^3 de déchets HA indiqué dans l'inventaire de référence (selon le PIGD version E), le volume français correspond à la valeur arrondie de 74 000 tonnes de métaux lourds de combustible usé.

L'estimation du coût forage profond en France pour tous les déchets HA (à savoir HA et HA0) est indiquée ci-après dans le Tableau 5.1-6 :

Tableau 5.1-6 Estimation du coût de forage profond en France pour tous les déchets HA

Catégorie	Unité	Montant total
Coût estimé par Bates (fourchette intermédiaire)	**En euros$_{2019}$ par tonne de métaux lourds**	136,3 €/t ML
Volume de métaux lourds de combustible usé compris dans l'inventaire de référence de déchets HA	**En tonnes**	74 000 t
Estimation du coût de forage profond pour tous les déchets HA		

[50] La famille CSD-V de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs concerne les conteneurs standards de déchets vitrifiés en acier inoxydable dans lesquels sont conditionnées les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs, calcinées et incorporées dans une matrice de verre, dans les ateliers de vitrification R7 et T7 du site Orano de La Hague.

L'inventaire de référence comprenant des déchets HA et HA0, le coût de forage profond des déchets HA uniquement peut être déduit grâce au prorata du volume respectif de ces déchets radioactifs dans le PIGD version E, pour un montant de 9 939 millions d'euros.

À ce stade, ces coûts ne permettent pas une comparabilité parfaite avec le périmètre des coûts associés à la mise en place de Cigéo. En effet, le périmètre de Allen Bates doit être complété avec les coûts suivants :

- coût d'investissement des installations conventionnelles de surface : gestion administrative, sécurité des personnes et des biens, fonctions d'accueil des travailleurs, des visiteurs et du public ;
- coût d'investissement des installations transverses : terrassements généraux du site, voiries, parkings, aires de stationnement et réseaux divers, les bâtiments de tri des déchets conventionnels, l'alimentation en électricité ;
- coût d'investissement des aménagements hors-site : raccordement aux réseaux d'eau potable, d'électricité et de télécom ; aménagements sur le réseau ferroviaire et routier ;
- coût de maîtrise d'ouvrage, de maîtrise d'œuvre, et d'assistance à maîtrise d'ouvrage ;
- assurances ;
- fiscalité.

Pour cela, nous nous basons sur les coûts correspondants dans la mise en place de Cigéo. Des hypothèses minorantes par rapport à celle de l'estimation de Cigéo ont été posées, car nous ne traitons que des déchets HA, et non des déchets HA et MA-VL comme dans le centre de stockage Cigéo.

Tableau 5.1-7 Estimation des coûts annexes pour une technologie prospective de type forage profond

Type de coût annexe	Hypothèse	Coût annexe
Installations conventionnelles de surface	50 % du montant correspondant de Cigéo (473 M€)	236 M€
Installations transverses	50 % du montant correspondant de Cigéo (1 545 M€)	773 M€
Aménagements hors-site	50 % du montant correspondant de Cigéo (154 M€)	77 M€
Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre	5,5 % du montant d'investissement annexe (1 086 M€)	60 M€
Assurances	50 % du montant correspondant de Cigéo (200 M€)	99 M€
Fiscalité	50 % du montant correspondant de Cigéo (904 M€)	452 M€
Coût annexe total		**1 697 M€**

Notons que ce coût unitaire vaut pour les cas où l'ensemble des déchets HA (HA et HA0) sont stockés avec une technologie de forage profond. C'est le cas de la branche 3.1.a (les déchets stockés pendant la phase industrielle pilote sont alors retirés de Cigéo) et de l'ensemble des branches de l'option 4 au sein desquelles la technologie prospective est mise en œuvre pour les déchets HA.

Dans le cas de l'option 2.1.b, ainsi que pour les branches 3.1.c et 3.2.a de l'option 3, seuls les déchets HA, hors HA0, sont stockés avec la technologie de forage profond. L'ensemble des déchets MA-VL étant stockés au sein de Cigéo, l'hypothèse est en effet posée que les déchets HA0 stockés lors de la phase industrielle pilote ne sont pas retirés.

Le coût de la technologie de forage profond portant uniquement sur les déchets HA, hors HA0, est alors estimé à 9 940 M€. Les coûts annexes sont supposés identiques au cas où les déchets HA et HA0 sont stockés avec une technologie de forage profond.

» NOTE IMPORTANTE

Le coût unitaire de la technologie prospective pour une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs est estimé à :

- environ 11 784 millions d'euros$_{2019}$ pour les déchets HA et HA0, dont 10 087 millions d'euros$_{2019}$ de coûts de forage et 1 697 millions d'euros$_{2019}$ de coût annexe ;
- environ 11 636 millions d'euros$_{2019}$ pour les déchets HA uniquement, dont 9 989 millions d'euros$_{2019}$ de coûts de forage et 1 697 millions d'euros$_{2019}$ de coût annexe.

5.1.4.2 Évolution des prix relatifs

Les dépenses de mise en place de la technologie prospective sont assimilés à des flux de type génie civil.

Consulter le chapitre 3.2.3 pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.5 Coût d'une technologie prospective pour les déchets MA-VL

En préliminaire, il est rappelé que les technologies prospectives présentées dans ce chapitre n'existent pas au stade industriel ; elles ont été retenues uniquement dans le cadre spécifique de cette évaluation socioéconomique à titre conventionnel et illustratif.

De la même façon que pour les déchets HA, le coût unitaire de la technologie prospective pour les déchets MA-VL estime le coût de la mise en place de cette technologie prospective, dans ses différentes phases : essais, fonctionnement et démantèlement.

Dans les options, ce coût unitaire s'articule avec le coût unitaire de la R&D et le coût unitaire de recherche de site, afin de modéliser au mieux le processus de mise en place d'un choix de mise en sécurité définitive.

L'estimation du coût unitaire d'une technologie prospective pour les déchets MA-VL, repose sur une illustration conventionnelle retenant un processus de densification des déchets MA-VL, préalable à la mise en forage profond. L'estimation du coût est ainsi réalisée en deux étapes détaillées dans les chapitres suivants.

5.1.5.1 Coût de densification des déchets MA-VL

Le chapitre 5.1.5 du présent document, précise que si les déchets HA disposent d'une géométrie compatible avec une mise en forage profond, certains déchets MA-VL, emprisonnés dans des colis de ciment cubiques, ou sous d'autres formes imposantes, ne sont pas compatibles en l'état en géométrie avec cette technologie. Pour cette raison, dans les options dans lesquelles une technologie prospective alternative est recherchée pour les MA-VL, l'évaluation socioéconomique prévoit une densification préalable à la mise en forage.

Concernant le coût de densification, nous nous appuyons sur l' » Évaluation technico-économique d'un procédé de traitement d'enrobés de boues bitumées par incinération/vitrification » du CEA (2015 (72)).

Il convient de souligner que le procédé chiffré dans le document mentionné ci-avant ne s'applique en aucun cas à l'ensemble des déchets de l'inventaire MA-VL, dont les caractéristiques physico-chimiques sont très variées : le traitement thermique systématique des déchets n'est pas une piste d'optimisation par densification. L'estimation du coût associé est ici utilisée à titre illustratif.

Dans cette note élaborée dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, les coûts estimés pour environ 29 000 colis MA-VL et 33 000 colis FA-VL sont les suivants :

Tableau 5.1-8 Coût du processus de densification de l'étude CEA

Catégorie de coût	Coût
Coût de conception, réalisation, installation : génie civil, installation chantier, terrassement, ventilation, réseaux fluides, radioprotection, équipements, coûts de gestion, provisions pour risques	299 M€
Coût des équipements et du bâtiment : moyens de levage et de manutention présents dans l'installation, équipements spécifiques au procédé, chambres froides, etc.)	40 M€
Coût de fonctionnement : personnel, maintenance, taxes, divers	701 M€
Coût de démantèlement	35 M€
Coût total du processus de densification de l'étude CEA	**1 075 M€**

Il est à noter que le CEA a émis des réserves sur la pertinence de ce coût (l'évaluation technico-économique de ce traitement thermique d'enrobé de boues bitumées a été jugé a postériori sous-évalué). À défaut d'autres études disponibles et publiées sur ce sujet au moment de la réalisation de cette évaluation socioéconomique, nous bâtissons le coût unitaire d'un processus de densification sur cette base.

Nous nous intéressons dans le cadre de cette évaluation socioéconomique au coût d'un processus de densification pour les 73 011 m³ de déchets MA-VL prévus par le PIGD version E.

L'étude menée par le CEA ne distingue pas, au sein des coûts de fonctionnement, les coûts attribuables à la densification des déchets MA-VL de ceux attribuables à la densification des déchets FA-VL (en pratique il existe un continuum de caractéristiques entre ces familles de déchets radioactifs, ce qui rend délicat l'estimation de coûts différenciés de densification). À défaut d'informations complémentaires sur le coût d'un processus de densification, nous nous basons sur cette étude, que nous extrapolons au cas étudié en posant un certain nombre d'hypothèses simplificatrices mais nécessaires à la réalisation de l'exercice :

- les coûts de conception, équipement, bâtiment et démantèlement sont indépendants du volume de déchets traité, de la catégorie de déchet MA-VL et du nombre de catégories de déchets MA-VL. Cette hypothèse, certes simplificatrice, permet de ne pas surestimer les coûts d'investissement, et ainsi ne pas commettre de biais d'optimisme en faveur de Cigéo[51] ;
- le coût de fonctionnement est proportionnel au volume de déchets traité, indépendamment de la typologie de déchets (FA-VL ou MA-VL) ;
- le coût de fonctionnement par m³ de déchets MA-VL traités est en moyenne identique ;
- le processus de densification ne modifie pas la masse totale des déchets traités, il accroit leur densité.

[51] Certains colis ayant des caractéristiques physico-chimiques éloignées pourraient faire l'objet de coûts supplémentaires.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

En se basant sur le ratio de volume des déchets MA-VL issu de l'inventaire de référence selon le PIGD version E (soit 73 011 mètres cubes) et du volume des déchets MA-VL et FA-VL issu de l'étude du CEA (soit 47 904 mètres cubes), nous obtenons l'estimation du coût de processus de densification suivant :

Tableau 5.1-9 Estimation du coût de processus de densification

Catégorie de coût	Étude CEA	Extrapolation au volume MA-VL de l'inventaire de référence (PIGD version E)
Coût de conception, réalisation et installation	299 M€	299 M€
Coût des équipements et du bâtiment	40 M€	40 M€
Coût de fonctionnement	701 M€	1 069 M€
Coût de démantèlement	35 M€	35 M€
Montant total	**1 075 M€**	**1 443 M€**

L'impact de ce processus de densification sur le volume de déchets MA-VL est fixé dans le cadre de cette évaluation socioéconomique à une réduction de moitié. Cette hypothèse est cohérente avec l'évaluation technico-économique du CEA (2015) (72) qui stipule que « le facteur de réduction de volume des déchets ultimes issus d'un traitement a été estimé à 2 ». Dans le cadre de la présente évaluation socioéconomique, ce facteur est retenu et appliqué au traitement visant à réduire le volume de tout type de déchet MA-VL, indépendamment de son conditionnement et de ses caractéristiques physico-chimiques.

5.1.5.2 Coût de forage profond des déchets MA-VL

Concernant les coûts de la mise en forage profond, nous nous appuyons ici encore sur la fourchette intermédiaire des coûts estimés par Bates et sur le calcul du coût de forage et de mise en forage établi dans le chapitre 5.1.4 du présent document, dans le cas des déchets HA, et noté dans l'équation ci-dessous C_{HA}. Le coût de forage à calculer dans le cas des déchets MA-VL repose ainsi sur le prorata du coût de forage des déchets HA par unité de volume, auquel est appliqué une hypothèse de réduction du volume de déchets MA-VL de moitié.

Hors coût de densification et coût annexe, le coût de forage pour les déchets MA-VL est donc calculé de la manière suivante :

$$C_{MA\text{-}VL} = \frac{C_{HA}}{V_{HA}} \times \frac{V_{MA\text{-}VL}}{2}$$

Soit

$$36\,658\ M€ = \frac{10\,087\ M€}{10\,045} \times \frac{73\,011}{2}$$

Rappelons que selon l'inventaire de référence (PIGD version E), le volume des déchets MA-VL représente 73 011 m³, et celui des déchets HA est de 10 045 m³.

» NOTE IMPORTANTE

Le coût unitaire de la technologie prospective pour une mise en sécurité définitive des déchets MA-VL, intégrant un processus de densification préalable à une mise en forage profond, est estimé à 39 798 millions d'euros. Ce coût intègre 1 443 millions d'euros$_{2019}$ de coût de densification, 36 658 millions d'euros$_{2019}$ de coût de forage et 1 697 millions d'euros$_{2019}$ de coûts annexes. Le détail de calcul est disponible en annexe 16.1.4.

Par ailleurs, dans le cas où la recherche pour les MA-VL et les HA est menée de concert, le coût total de mise en œuvre de la technologie prospective pour les déchets MA-VL et les déchets HA est estimé en ajoutant au coût de la technologie prospective pour les déchets MA-VL :

- Le coût de mise en forage des déchets HA (10 087 M€) ;
- Un doublement des coûts d'assurance et de fiscalité, pour un coût annexe total de 2 249 M€.

» NOTE IMPORTANTE

Le coût unitaire de la technologie prospective pour une mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL, intégrant un processus de densification préalable à une mise en forage profond pour les déchets MA-VL, est estimé à 50 436 millions d'euros. Ce coût intègre 1 443 millions d'euros$_{2019}$ de coût de densification, 46 745 millions d'euros$_{2019}$ de coût de forage et 2 248 millions d'euros$_{2019}$ de coûts annexes. Le détail de calcul est disponible en annexe 16.1.4.

5.1.5.3 Coût de reprise des déchets stockés dans le centre de stockage Cigéo

La reprise des déchets MA-VL déjà stockés dans le centre de stockage Cigéo se pose dans le cas où une technologie prospective est trouvée pour les MA-VL, alors que la construction initiale et la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo ont été réalisés. C'est le cas de la branche 3.1.a de l'option 3[52]. Cette hypothèse de récupération des déchets radioactifs est illustrative et cohérente avec le principe de réversibilité du centre de stockage Cigéo, prévu par la loi.

En l'absence d'étude technico-économique sur la question, et afin de fournir un ordre de grandeur du coût de la reprise des colis, nous posons l'hypothèse que le coût de reprise des déchets est équivalent au coût de la mise en stockage pendant la phase industrielle pilote, soit environ 970 millions d'euros d'exploitation, d'impôts, d'assurances, et de maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre.

5.1.5.4 Évolution des prix relatifs

Les dépenses de mise en place de la technologie prospective sont assimilés à des flux de type génie civil.

Consulter le chapitre 3.2.3 du présent document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

[52] Notamment entre les années 2070 et 2079.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

5.1.6 Coût d'entreposage

Le coût unitaire d'entreposage intervient dans les options 2, 3 et 4 ; il s'agit d'un surcoût d'entreposage par rapport aux besoins d'entreposage associés à l'option de projet 1.

5.1.6.1 Contexte actuel de l'entreposage temporaire

Avant leur stockage en couche géologique profonde, les déchets radioactifs sont entreposés.

Les solutions techniques actuellement employées en France consistent à entreposer les déchets HA et MA-VL à sec sur les sites nucléarisés (73), dans l'attente d'une solution de mise en sécurité définitive. Dans le cas des déchets HA, un entreposage de type puits (ou « Vault ») est mis en place (74) (cf. Figure 5.1-3). Les déchets MA-VL (cf. Figure 5.1-4) sont la plupart du temps entreposés dans des colis (acier ou béton notamment) dans des installations dédiées. La moindre puissance thermique des déchets MA-VL par rapport aux déchets HA explique une complexité technique moindre concernant les modalités d'entreposage. Cette différence impacte les coûts de l'entreposage.



Figure 5.1-3 *Exemple d'installation d'entreposage de déchets HA de type puits : hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7 UP2 800 du site Orano de La Hague © Orano*



Figure 5.1-4 *Exemple d'installation d'entreposage de déchets MA-VL : installation STE3 (photo prise à travers un hublot de protection) du site Orano de La Hague © Orano*

Les installations actuelles d'entreposage à sec en France sont listées dans le tableau 5.1-10.

Tableau 5.1-10 État des lieux actuel des installations d'entreposage temporaire des déchets MA-VL et HA en France

Entreprise	Nom de l'installation	Type de déchets entreposés	Capacité[53]	Date de mise en service
CEA	CEDRA (Cadarache)	MA-VL	MA-VL FI[54] : 8 000 colis - 4 450 m³ MA-VL MI[55] : 500 colis - 825 m³	2006
	SVM (Marcoule)	HA et quelques MA-VL	3 800 places - 665 m³	1978
	DIADEM (Marcoule) en cours de construction	MA-VL et FMA-VC	405 m³	2019 (estimation)
	EIP (Marcoule)	MA-VL et FA-VL	11 500 colis - 4 370 m³	2000
Orano	R7 ; T7 ; E-EV-SE ; E-EV-LH – en cours d'extension	HA	16 750 colis - 3 000 m³ (avant extension 2017)	1989, 1992, 1996, 2013
	EDS	MA-VL	15 000 m³	1990, 2008, 2009
	S ; ES	MA-VL	47 000 colis - 10 440 m³	1987, 1995
	ECC	MA-VL	20 800 colis - 3 744 m³	2002
EDF	ICEDA (Bugey) en cours d'essais	MA-VL	2 700 colis - 5 400 m³	2020 (estimation)

5.1.6.2 Estimation du surcoût d'entreposage

Les coûts liés à l'allongement de la durée d'entreposage sont estimés à partir des données fournies individuellement par les producteurs de déchets. Ces coûts sont de l'ordre de plusieurs dizaines de millions d'euros par année, seulement pour les coûts de fonctionnement. Les coûts d'investissement, visant à renouveler les sites d'entreposage, diffèrent selon les producteurs ; la chronique des coûts diffère selon les dates de construction initiale des sites actuels d'entreposage.

Pour illustration, si tous les entrepôts devaient être reconstruits en même temps, l'investissement serait de l'ordre de plusieurs milliards. Notons que les coûts estimés le sont *a minima*, car ils ne tiennent pas compte des coûts de surveillance militaire des sites d'entreposage, dont les montants sont classés secret défense.

Les coûts affectés à l'entreposage dans les différentes options, seront exprimés en différentiel par rapport à l'option de projet 1. Les chroniques peuvent varier selon les options dès l'envoi du premier colis MA-VL en phase industrielle pilote.

[53] Données issues de (75) et (76).
[54] FI : faiblement irradiant.
[55] MI : moyennement irradiant.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

5.1.6.3 Évolution des prix relatifs

Les coûts d'entreposage sont assimilés à des flux de type génie civil.

Consulter le chapitre 3.2.3 du présent document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.7 Coût de transport

5.1.7.1 Coût unitaire

Le coût unitaire de transport intervient dans les options 2, 3, 4. Ce coût de transport a été calculé pour chaque option d'investissement, sur la base d'extrapolations issues des chroniques de livraison des déchets depuis leur site d'entreposage temporaire actuel vers le centre de stockage Cigéo, présentées dans la version E du PIGD (la dernière disponible à date), ainsi que sur des éléments de gestion du ressort des producteurs.

Le transport des colis est principalement requis pour déplacer les colis de déchets radioactifs entre le site d'entreposage temporaire et le site de mise en sécurité définitive, quelles que soient les options. A noter que dans l'option 4, le transport des colis en phase industrielle pilote dès 2030 n'a pas lieu, conformément aux hypothèses de cette option.

En conséquence, les seules différences entre les options et leurs différentes branches concernent les dates et périodes durant lesquelles les colis sont transportés. A défaut de connaître le lieu où serait situé le site de stockage retenu dans la modélisation de la technologie prospective, et de connaître des coûts de transport par kilomètre, nous posons l'hypothèse que tous les sites de stockage sont équidistants des sites d'entreposage. De fait, à volume de déchets constant, il n'y a pas de différence de coût brut lié aux transports entre les différentes options.

Les différences s'observent uniquement en tenant compte des *scenarii* (en fonction du caractère plus ou moins chaotique de la société, les normes de sûreté seront plus ou moins élevées, générant des coûts plus ou moins importants), et de l'actualisation (des dépenses de transport survenant plus tardivement pèsent moins dans le résultat actualisé, qui écrase plus fortement le futur).

Par ailleurs, des transports supplémentaires de colis sont également requis dans les options où la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo est lancée en phase initiale avec en parallèle le succès de l'effort de R&D conduisant à trouver une technologie prospective préférable au stockage géologique profond, pour les déchets HA et MA-VL. En effet, dans ce cas de la modélisation, il convient alors de retirer les colis stockés dans le centre de stockage Cigéo pendant la phase industrielle pilote, et de les transporter une deuxième fois, jusqu'à leur nouveau site de stockage par forage profond.

Les coûts de transport sont identiques pour l'ensemble des branches des options 1, 2 et 3 jusqu'en 2070, pour ce qui concerne le transport des colis, en phase industrielle pilote, des installations d'entreposage temporaire vers le centre de stockage Cigéo.

Au-delà de 2070, si l'on prévoit de déplacer l'ensemble des déchets du lieu d'entreposage temporaire jusqu'à l'endroit où se situera la technologie prospective utilisée pour gérer définitivement les déchets, la chronique de transport des déchets diffèrera selon les options et les branches.

» NOTE IMPORTANTE

Le coût unitaire de transport pour l'ensemble des déchets HA et MA-VL entre le site d'entreposage temporaire et le centre de stockage Cigéo est estimé à environ 1 472 millions d'euros$_{2019}$.

5.1.7.2 Évolution des prix relatifs

Les coûts de transport sont assimilés à des flux de type génie civil.

Consulter le chapitre 3.2.3 du présent document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.8 Coût des GIP

5.1.8.1 Coût unitaire

Tel que détaillé au chapitre 5.1.3 de ce document, l'accompagnement économique attribué par les groupements d'intérêts publics aux acteurs sur le territoire concernent essentiellement les subventions aux communes les plus proches (distance inférieure à 10 km) et les subventions ou prêts attribués à des porteurs de projets publics ou privés. Sur la période 1999-2019, on estime à plus de 800 M€ les coûts de ces GIP.

Nous posons les hypothèses suivantes concernant les projections de dépenses de GIP :

- pour l'ensemble des options, le montant alloué à chacun des deux groupements d'intérêts publics (GIP Objectif Meuse et GIP Haute-Marne), correspondant à une dépense annuelle de 30 millions d'euros par groupement d'intérêt public, se poursuit entre 2019 et 2025 ;
- pour les branches des options 1, 2 et 3 au sein desquelles le décret d'autorisation de création est émis en 2025, les GIP s'arrêtent à partir de cette date ;
- pour l'option 4, l'accompagnement économique attribué par les GIP se poursuit jusqu'en 2070, mais il est réduit à 15 millions d'euros par an et par GIP.

5.1.8.2 Évolution des prix relatifs

Les coûts de GIP sont assimilés à des flux de type recherche et maintien des compétences.

Consulter au chapitre 3.2.3 de ce document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.9 Coût de maintien des compétences

5.1.9.1 Coût unitaire

Le coût unitaire de maintien des compétences estime les efforts nécessaires pour assurer la pérennité de la connaissance théorique et technologique relative à la gestion des déchets radioactifs, notamment en cas de situation d'attente, sans démarche active et appliquée.

Ainsi, des dépenses de maintien des compétences doivent être engagées dans le cas où le projet global Cigéo est suspendu et susceptible d'être réactivé par la suite, à l'issue d'une période de R&D (option 4). Dans ce cas, il est important de considérer la possible perte de connaissances et de compétences pour la réalisation d'un centre de stockage géologique profond. Une perte de compétences pourrait engendrer des coûts supplémentaires ou des retards lors de la réalisation décalée du stockage géologique profond.

Actuellement, ce point est illustré par les difficultés qu'éprouve le chantier de l'EPR de Flamanville. Une partie des retards et coûts additionnels est expliquée par une perte de compétences d'EDF et de ses sous-traitants depuis la dernière construction d'une centrale nucléaire en France (2018 (77)).

Les compétences considérées visent essentiellement les connaissances :

- de l'Andra sur le stockage géologique profond (son dimensionnement, son architecture, les mesures de sûreté à mettre en place, la connaissance sur le comportement des roches, les travaux souterrains, etc.) ;
- mais également celles détenues par les producteurs : compétences sur la gestion des déchets radioactifs, leur conditionnement (contenu des colis de déchets, comportement de ces déchets dans leur colis d'entreposage, etc.), et leur transport ;
- ou encore les connaissances de l'ASN de contrôle de la sûreté nucléaire.

Une prise en compte possible de cet effet dans cette évaluation socioéconomique est de considérer un coût de maintien des compétences associé au stockage géologique profond, afin de conserver cette possibilité ouverte, techniquement réalisable et d'éviter un surcoût si une réalisation intervient dans le futur (dans le cadre de cette évaluation, à partir de 2070 ou 2100). Un premier indicateur pour prendre en compte ce coût de maintien des compétences pourrait être approché par la valorisation des salaires des personnels de l'Andra travaillant actuellement sur le projet global Cigéo.

En 2017, 304 équivalents temps plein ont travaillé sur le projet de global Cigéo[56]. En se basant sur un coût horaire entre 40 € et 60 €[57], cela conduit à un coût approximatif de 19 à 29 millions d'euros par an.

» NOTE IMPORTANTE

Le coût unitaire de maintien des compétences est estimé à la valeur moyenne de 24 millions d'euros par an.

5.1.9.2 Évolution des prix relatifs

Ces dépenses sont assimilées à des flux de type recherche et maintien des compétences.

Consulter le chapitre 3.2.3 du présent document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.10 Coût de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne

5.1.10.1 Coût unitaire

Le coût unitaire de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne concerne les efforts nécessaires pour laisser ouverte la disponibilité du site d'implantation pour un stockage géologique.

Des coûts de maintien du site de Meuse/Haute-Marne sont engagés dans l'option 4, entre 2019 et 2070, dans l'attente de savoir si le site est conservé et si le stockage en couche géologique profonde est le choix de mise en sécurité définitive retenu. Les hypothèses suivantes ont été formulées quant aux dépenses de maintien de site à considérer *a minima :*

[56] Source Andra, un équivalent temps plein correspond à 1 570 heures par an.
[57] Valeurs prises pour les taux horaires du personnel statuaire dans l'Évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue - Proposition de l'Andra Tome 2 (67).

- maintien du fonctionnement du laboratoire souterrain sur la durée de la période de recherche (2019-2069)[58] : nous mobilisons le coût annuel de 23,8 millions d'euros par an, égal au montant moyen des 5 dernières années de fonctionnement ;
- maintien des dépenses de communication, insertion territoriale et observation de l'environnement sur la durée de la période de recherche (2019-2069), à hauteur de 8,6 millions d'euros par an (montant annuel des 5 dernières années de fonctionnement).

NOTE IMPORTANTE

Le coût unitaire de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne est estimé à 32 millions d'euros par an.

5.1.10.2 Évolution des prix relatifs

Ces dépenses sont assimilées à des flux des flux de type recherche et maintien des compétences.

Consulter le chapitre 3.2.3 de ce document, pour les précisions théoriques et méthodologiques et pour retrouver les valeurs des élasticités pour chaque borne et dans les deux *scenarii*.

5.1.11 Récapitulatif des coûts unitaires

Tableau 5.1-11 Récapitulatif des coûts unitaires

Coût unitaire		Montant (déterministe) ou hypothèse	Source
Coût de mise en place de Cigéo (conception-construction, fonctionnement et fermeture)		25 000 M€$_{2012}$ sur la période 2016-2156 Soit 25 811 M€$_{2019}$ sur la période 2019-2156	Andra et DGEC
Coût de R&D	**Pour une technologie HA**	3 570 M€ (70 M€/an)	Activités de recherche réalisées dans le cadre de la loi « Bataille »
	Pour une technologie HA et MA-VL	7 140 M€ (140 M€/an)	
Coût d'une technologie prospective (conception-construction, fonctionnement et fermeture)	**Pour la mise en forage profond des déchets HA (dont coûts annexes)**	11 637 M€ (HA uniquement) 11 784 M€ (HA0 et HA)	Allen Bates (2015 (65))
	Pour la densification des déchets MA-VL	1 443 M€	CEA (2015)
	Pour la mise en forage profond des déchets MA-VL (dont coûts annexes)	38 355 M€	Allen Bates (2015 (65))
	Pour la mise en forage profond des déchets HA et MA-VL (dont coûts annexes)	48 994 M€	Allen Bates (2015 (65))
Coût d'entreposage (surcoût)		Propre à chaque branche	Producteurs
Coût de transport		1 472 M€	Producteurs
Coût de recherche de site	**Pour le stockage géologique profond sur un nouveau site**	3 989 M€	Rapports financiers et synthèses de faisabilité de financement de l'Andra et des GIP Objectif Meuse et Haute-Marne
	Pour une technologie prospective	6 294 M€	
Coût de maintien des compétences		24 M€/an	Andra : hypothèse coût ETP Andra travaillant sur Cigéo
Coût de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne		32 M€/an	Andra : hypothèse fonctionnement du laboratoire souterrain et insertion territoriale
Coût des GIP		60 M€/an jusqu'en 2025 30 M€/an à partir de 2026 et jusqu'en 2069 si Cigéo n'est pas mis en place dès 2019	GIP Objectif Meuse et GIP Haute-Marne

[58] Actuellement, le laboratoire souterrain n'est autorisé que jusqu'en 2030.

5.1.12 Aléas sur les coûts unitaires

Les coûts unitaires estimés dans les chapitres précédents sont entourés de plages de risques[59]. En effet, les coûts de grands investissements ont tendance à être sous-estimés, et la durée de l'étude est ici particulièrement longue. Il n'est donc pas réaliste de chercher à fournir des estimations déterministes (c'est-à-dire sans plage de risque), et il convient plutôt d'attribuer une fourchette de valeurs possibles.

L'approche probabiliste s'appuie ici sur une approche de Monte-Carlo. La simulation de Monte-Carlo est un outil statistique pour estimer la moyenne d'une variable aléatoire. Elle consiste à attacher à chaque variable de coût une distribution, représentative de l'ensemble des valeurs que la variable peut prendre. Un nombre important de tirages (10 000) est par la suite simulé (le standard est entre 1 000 et 10 000). Il convient donc de choisir, pour chaque paramètre de coût, la distribution la plus adaptée.

Nous choisissons ici, par simplicité et cohérence, d'attribuer la même distribution pour l'ensemble des lignes de coûts. Nous optons pour une distribution uniforme : le minimum est défini comme 80 % du coût déterministe et le maximum comme 150 % du coût déterministe.

Pour le centre de stockage Cigéo, notons que 100 % correspond à la valeur du coût arrêté par la Ministre (environ 25 milliards €$_{2019}$) (6) ; tandis que la borne à 80 % équivaut à un montant de 20 milliards d'euros, correspondant à la proposition de coût objectif (hors risques), fruit d'un travail de mise en commun

[59] On parle ici de risque ou d'aléa sur les coûts et non d'incertitude, car le risque est probabilisable, tandis que l'incertitude ne l'est pas. Ici, puisqu'on encadre les sur-estimations et sous-estimations d'une loi de probabilité, il s'agit par définition d'un risque.

d'Areva, du CEA et d'EDF en 2015 (78). Enfin, la borne à 150 % suggère un coût de 37,5 milliards d'euros, soit légèrement supérieur au coût esquisse élaboré par l'Andra (66) (67).

Nous illustrons ainsi que, dans ce type de mégaprojets, on observe peu d'exemples au sein desquels les coûts effectifs sont inférieurs aux coûts prévus ; les dépassements de coûts sont en revanche courants, et peuvent être substantiels.

5.1.13 Probabilité de succès des recherches et de perte de site

Dans les différentes branches et options, des probabilités sont affectées à trois questions :

- quelle est la probabilité de succès de la R&D ?
- quelle est la probabilité de perte du site actuel de Meuse/Haute-Marne ?
- quelle est la probabilité de succès de la recherche d'un nouveau site de stockage profond ?

5.1.13.1 Probabilité de succès de la recherche (R&D et site)

Comme explicité dans le chapitre 4 détaillant les branches des différentes options, la R&D est considérée fructueuse lorsqu'elle combine le succès de la R&D fondamentale pour développer une technologie prospective à un niveau de sûreté au moins équivalent à celui de l'option de projet 1, et le succès de la recherche de site, permettant de trouver un site d'implantation.

Notons qu'il est très complexe, voire impossible, de modéliser ou d'estimer la probabilité de succès de la recherche, en particulier sur un horizon de temps de plusieurs décennies. Nous faisons donc le choix d'une plage de valeurs de réussite, dont la distribution est supposée uniforme. En d'autres termes, contrairement à une loi normale ou une loi triangulaire, nous choisissons une probabilité de base (0,5) pour mener l'analyse déterministe, sans que cette probabilité ne soit jugée plus ou moins réaliste que les autres valeurs contenues dans la fourchette (comprise entre 0,3 et 0,7).

Par ailleurs, rappelons que cette probabilité de succès reflète l'avènement de deux recherches distinctes : la probabilité, d'une part, de trouver une technologie prospective ; la probabilité, d'autre part, de trouver un site d'implantation. Ces deux conditions doivent être impérativement réunies pour qu'une technologie prospective puisse être mise en place. La probabilité de succès concernant le volet technologique paraît, à dire d'experts, relativement élevée ; en particulier si on se focalise sur le forage profond et avec des échelles de temps de recherche larges. La probabilité de trouver un site d'implantation est, quant à elle, hautement incertaine. À dire d'experts, il faudrait compter *a minima* une trentaine d'années pour trouver un nouveau site, avec une très grande incertitude sur l'acceptabilité d'une telle démarche.

Nous adoptons donc une plage de probabilité très large : [0,3 ; 0,7]. Nous choisissons arbitrairement la moyenne de ces deux chiffres, soit 0,5 pour l'analyse déterministe.

Par ailleurs, nous supposons, à dire d'experts, que, si une technologie de forage profond est trouvée pour les déchets HA, alors la probabilité de réussite pour une technologie de densification est élevée : par hypothèse, nous la projetons à 90 %. Cette valeur est une hypothèse basée sur l'avancement actuel de la technologie et projeté en 2070 avec des dépenses de R&D d'ici là.

5.1.13.2 Probabilité de perte du site actuel de Meuse/Haute-Marne

Au sein de l'option 4, aucun investissement dans Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne n'est lancé en 2019 ; ainsi, il apparaît une possibilité de perte du site, suite par exemple à une montée de la contestation liée à l'implantation du site de stockage des déchets radioactifs.

Tout comme la probabilité d'identifier une technologie prospective, il est très complexe de modéliser la probabilité de perte du site de Meuse/Haute-Marne. Nous faisons donc ici aussi le choix d'une plage de valeurs de perte du site de Meuse/Haute-Marne, dont la distribution est supposée uniforme, et comprise entre 0,3 et 0,7.

5.1.13.3 Probabilité de succès de la recherche d'un nouveau site pour le stockage profond

Dans les branches 4.4 et 4.7 de l'option 4, une recherche d'un nouveau site pour Cigéo suite à la perte de Meuse/Haute-Marne est lancée. Cette recherche peut avoir pour objectif un site pour les déchets MA-VL uniquement (4.4) ou pour les déchets HA et MA-VL (4.7).

Ici aussi, nous faisons le choix d'une plage de valeurs de réussite, dont la distribution est supposée uniforme, et comprise entre 0,3 et 0,7.

Les principales familles de coûts étant décrites, il est désormais aisé de détailler simplement le coût de chaque option. C'est l'objet des chapitres 5.2 à 5.5 ci-après.

5.2 Coût de l'option de projet 1

Rappelons que l'option de projet 1 décrit une configuration où le décideur public lance, après avis favorable de l'ASN, la réalisation du centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi, afin que tous les déchets soient gérés en ayant recours au stockage en couche géologique profonde. Cette option est réalisée sans investissement complémentaire dans la R&D en vue de trouver une solution alternative.

En complément, le lecteur peut se reporter à l'annexe 15 pour disposer de plus de détails et visualiser les représentations graphiques.

5.2.1 Coût brut de l'option de projet 1

Le chiffrage de l'option de projet 1 est simplement constitué de trois types de coûts : les coûts afférents à Cigéo, les coûts de transport et les coûts des GIP. Ils peuvent être résumés comme suit :

Tableau 5.2-1 Coût brut de l'option de projet 1, en €$_{2019}$

Option de projet 1	
Choix de gestion pour les MA-VL Choix de gestion pour les HA	Stockage géologique profond
Coût de mise en place de Cigéo	25 811 M€
Coût de transport	1 472 M€
Coût des GIP	420 M€
Coût brut total	27 703 M€

Nous rappelons qu'il s'agit à ce stade du coût brut, c'est-à-dire sans prise en compte des prix relatifs des différents *scenarii* et sans prise en compte du temps long (actualisation).

La répartition des coûts afférents à la mise en place de Cigéo est représentée dans la figure 5.2-1, et leur évolution dans la figure 5.2-2.

Figure 5.2-1 *La répartition des coûts afférents à Cigéo*

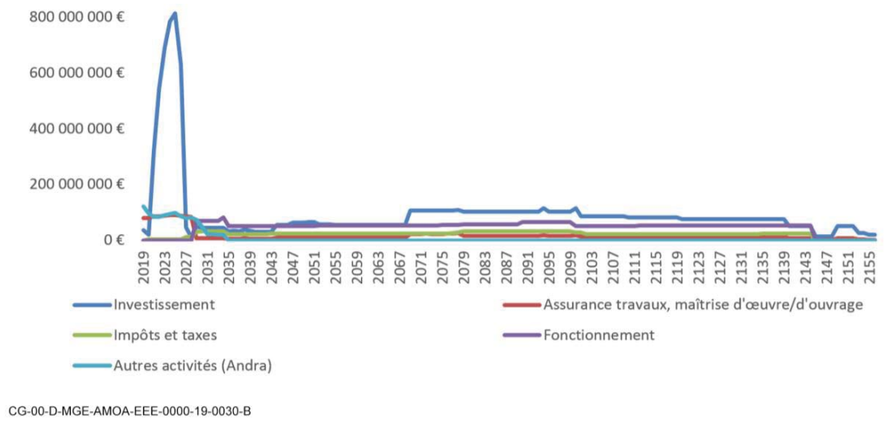


Figure 5.2-2 *Chronique du coût de mise en place de Cigéo dans l'option de projet 1, par composante*

Enfin, la chronique de transport pour l'acheminement des déchets radioactifs depuis leur site d'entreposage vers le centre de stockage Cigéo débute lors de la phase industrielle pilote, avec des déchets MA-VL à partir de 2030 et se poursuit jusqu'en 2095 pour leur stockage lors de la phase de fonctionnement (intervenant, pour mémoire, sur la période 2040-2100). La chronique de transport des HA, après la période de phase industrielle pilote intervenant jusqu'en 2035 pour les déchets HA0, reprend ensuite à l'horizon de la période 2080-2145 pour leur stockage en phase de fonctionnement.

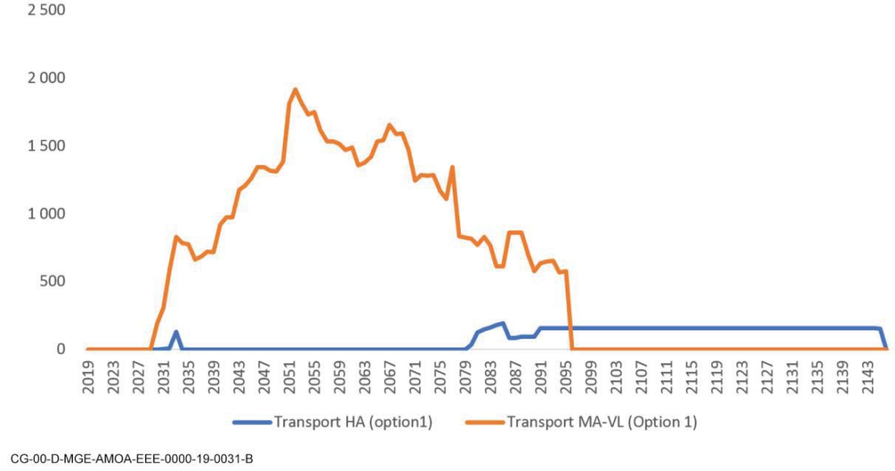


Figure 5.2-3 *Chronique de transport des déchets pour l'option de projet 1 – en m³ de colis*

La chronique du coût brut de l'option de projet 1 est représentée dans le graphique ci-dessous.

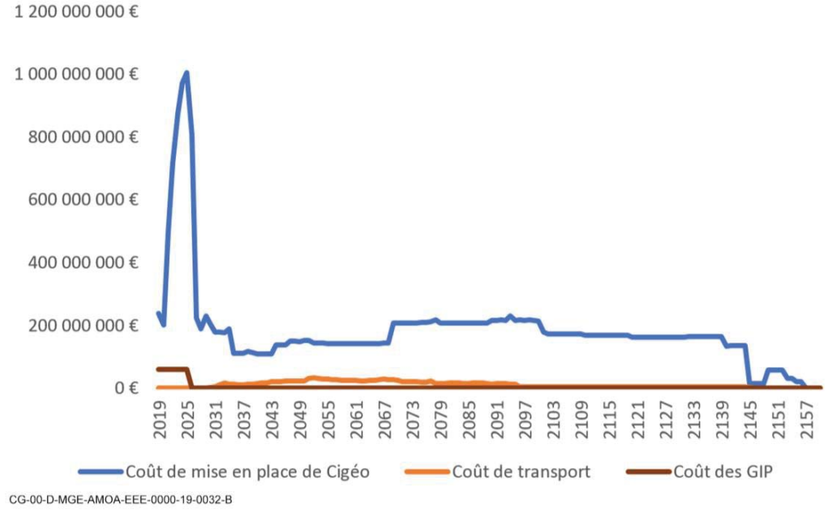


Figure 5.2-4 *Chronique du coût brut de l'option de projet 1*

5.2.2 Prise en compte du risque d'aléa sur les coûts de l'option de projet 1

Pour prendre en compte les possibles aléas sur les coûts de l'option de projet 1, nous effectuons une approche probabiliste, à l'aide d'une modélisation Monte-Carlo de 10 000 tirages, sur la base des distributions de coûts décrites dans les descriptions des coûts unitaires (cf. chapitre 5.1.12 du présent document).

En moyenne, le coût de l'option de projet 1 s'élève à 31 858 millions d'euros, soit au-delà des 27 703 millions d'euros estimés dans l'approche déterministe. Ce surcoût s'explique par les hypothèses de surcoût portant sur l'ensemble des postes de dépenses, dont les distributions sont supposées uniformes, entre 80 % et 150 % du coût déterministe estimé. L'intervalle de confiance de 90 % est compris entre environ 23 306 millions d'euros et 39 971 millions d'euros.

Les représentations graphiques de ces tirages sont disponibles en annexe.

5.2.3 Prise en compte des prix relatifs dans les coûts l'option de projet 1

Rappelons que les prix relatifs visent à tenir compte des éventuelles évolutions des prix en fonction de leur élasticité au PIB. Or, comme décrit dans au chapitre 3.2.3 du présent document, les projections de PIB sont modélisées différemment en fonction des *scenarii* considérés, et des hypothèses (basse, intermédiaire et haute) placées sur leurs évolutions.

Tableau 5.2-2 Estimation du coût de l'option de projet 1 avec prise en compte des prix relatifs et de l'aléa

Option de projet 1		Scénario OK	Scénario KO
Coût brut		27 703 M€	
Coût avec prise en compte des prix relatifs et de l'aléa (moyenne)	**Borne haute**	99 065 M€	49 946 M€
	Borne intermédiaire	55 982 M€	40 498 M€
	Borne basse	34 123 M€	33 102 M€

On note ainsi qu'avec la prise en compte des prix relatifs, l'option de projet 1 coûte plus cher en scénario OK qu'en scénario KO (que l'on raisonne en approche probabiliste ou déterministe). Cet écart s'explique par la prise en compte de taux de croissance plus faibles en scénario KO.

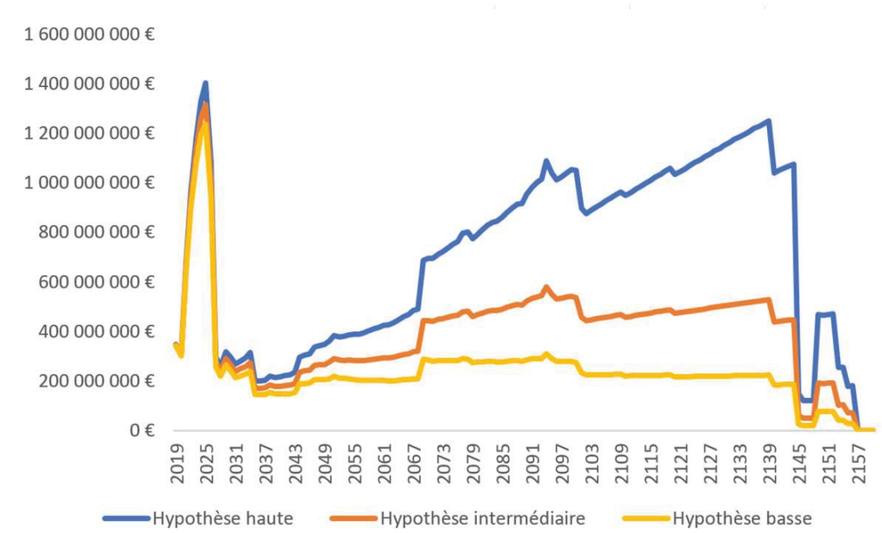


Figure 5.2-5 Coût de l'option de projet 1 en scénario OK

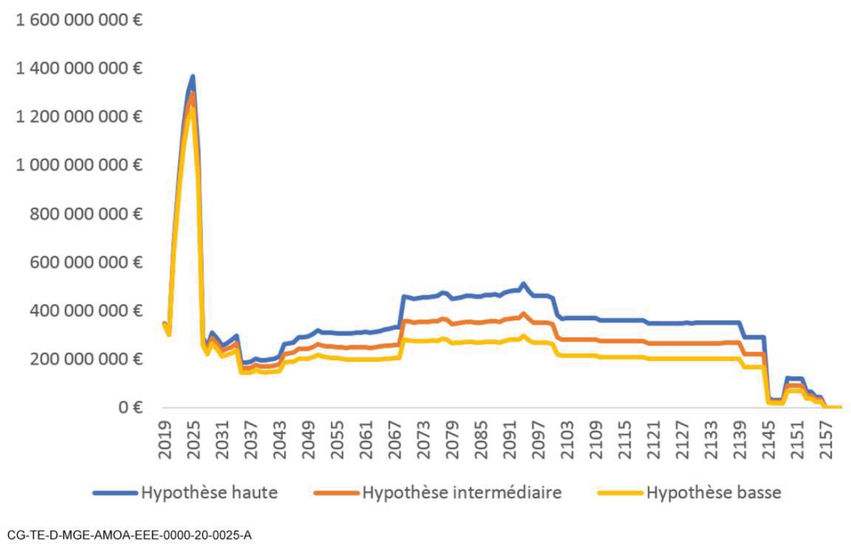


Figure 5.2-6 Coût de l'option de projet 1 en scénario KO

5.2.4 Coût actualisé de l'option de projet 1

La prise en compte du temps long s'effectue par la mobilisation d'un taux d'actualisation. Comme expliqué dans le chapitre 3 du présent document document, des taux d'actualisation différenciés sont mobilisés selon le scénario OK ou KO. De plus, au sein d'un même scénario, une borne haute, une borne intermédiaire et une borne basse ont été définies pour tenir compte des débats théoriques et de l'incertitude des différents paramètres du système d'actualisation.

5.2.4.1 *Scenarii* OK et KO

Les résultats actualisés sont résumés dans le tableau ci-dessous (ils tiennent compte des prix relatifs). Ils sont exprimés *via* l'approche probabiliste. Plus précisément, il n'y a pas de tirage sur la valeur des taux d'actualisation, en revanche, chaque tirage est actualisé.

Tableau 5.2-3 Estimation du coût de l'option de projet 1 avec prise en compte du temps long (actualisation)

Option de projet 1		Espérance	Intervalle de confiance 90 %
Coût brut moyen		31 858 M€	Entre 23 717 M€ et 39 971 M€
Coût actualisé en scénario OK	**Taux d'actualisation haut**	9 836 M€	Entre 7 360 M€ et 12 311 M€
	Taux d'actualisation intermédiaire	12 544 M€	Entre 9 389 M€ et 15 695 M€
	Taux d'actualisation bas	14 482 M€	Entre 10 822 M€ et 18 146 M€
Coût actualisé en scénario KO	**Taux d'actualisation haut**	11 646 M€	Entre 8 728 M€ et 14 566 M€
	Taux d'actualisation intermédiaire	16 741 M€	Entre 12 503 M€ et 20 976 M€
	Taux d'actualisation bas	22 835 M€	Entre 17 028 M€ et 28 636 M€

Les représentations graphiques des résultats de tirage Monte-Carlo sur des flux actualisés, aux différents taux et dans les différents *scenarii* sont présentées dans l'Annexe 15.

» QUE SE PASSERAIT-IL SI L'INVESTISSEMENT DANS LE CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO ÉTAIT SIMPLEMENT DÉCALÉ DE 10 ANS OU 20 ANS ?

Un calcul est effectué pour voir à quel point, par le jeu de l'actualisation, le coût de cette option de projet 1 diminuerait si on retardait la mise en place du centre de stockage Cigéo. Les gains mécaniques permis par le phénomène d'actualisation sont comparés aux surcoûts engendrés en termes d'entreposage, de maintien compétences et de maintien du site, ainsi que de dépenses supplémentaires de GIP. Le détail de ce calcul se trouve en annexe 19.

Ces dépenses immédiates évitées sont à mettre en balance des coûts consécutifs à une éventualité de perdre le site de Meuse/Haute-Marne, qui n'est ici pas modélisée. Cette perte est en effet modélisée en option 4. L'objectif de cet encadré est essentiellement de mettre en évidence le phénomène d'actualisation.

En scénario OK, les coûts actualisés estimés sont les suivants :

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

- si Cigéo est mis en œuvre en 2019 (soit l'option de projet 1), le coût actualisé de sa mise en place est de 9 836 millions d'euros avec le taux d'actualisation haut, 12 544 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire, et 14 482 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas ;
- si Cigéo est mis en œuvre en 2029, le coût actualisé de sa mise en place s'élève à 7 891 millions d'euros avec le taux d'actualisation haut, 10 917 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire, et 13 151 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas ;
- si Cigéo est mise en place en 2039, le coût actualisé de sa mise en place s'élève à 6 712 millions d'euros avec le taux d'actualisation haut, 9 896 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire, et 12 394 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas.

En scénario KO, les coûts actualisés estimés sont les suivants :

- si Cigéo est mis en œuvre en 2019 (soit l'option de projet 1), le coût actualisé de sa mise en place est de 11 646 millions d'euros avec le taux d'actualisation haut, 16 741 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire, et 22 835 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas ;
- si Cigéo est mis en œuvre en 2029, avec un décalage de 10 ans, le coût actualisé de sa mise en place s'élève à 9 956 millions d'euros avec le taux d'actualisation haut, 15 713 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire, et 22 781 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas ;
- si Cigéo est mise en place en 2039, avec un décalage de 20 ans, le coût actualisé de sa mise en place s'élève à 8 920 millions d'euros avec le taux d'actualisation haut, 15 195 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire, et 23 275 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas.

Dans tous les cas, ce calcul élémentaire aboutit à l'observation que retarder des coûts est bénéfique sur le plan financier ; il suppose cependant que le site n'est pas perdu. L'effet bénéfique de retarder la dépense doit donc être contrebalancée avec le risque de perte du site, difficile à apprécier, et qui peut avoir de nombreuses origines.

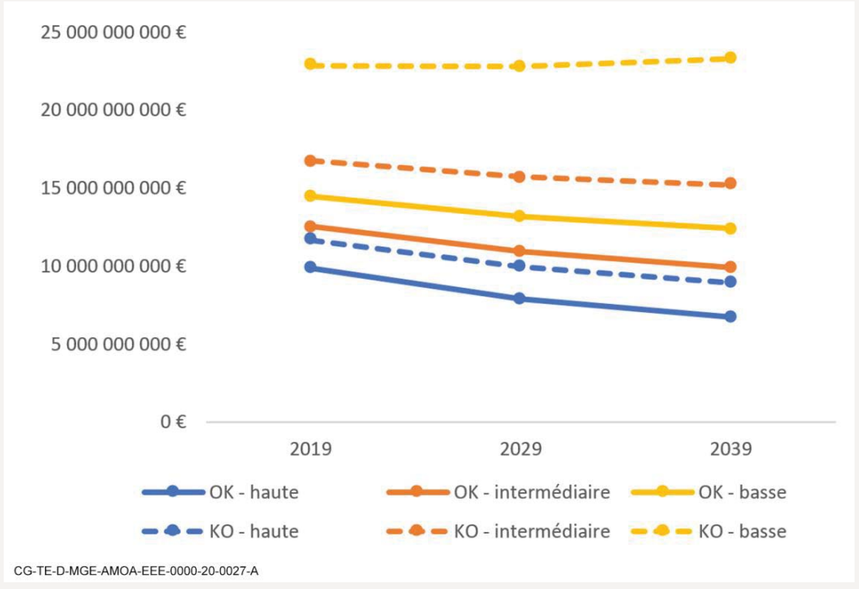


Figure 5.2-7 Coût actualisé de l'option de projet 1 et ses variantes (démarrage en 2029 ou 2039), selon le scénario et le taux d'actualisation

5.3 Coût de l'option 2

Rappelons que l'option 2 désigne une configuration où le décideur public lance la construction initiale du centre de stockage Cigéo, ainsi que la phase industrielle pilote, en vue de stocker des déchets MA-VL. En parallèle, le décideur public entreprend un effort en R&D ciblé sur les déchets HA, en vue de trouver une solution de mise en sécurité définitive autre que le stockage géologique profond. Cet effort dure jusqu'en 2070, date à laquelle une décision est prise quant à la solution de mise en sécurité définitive appropriée.

Plusieurs éventualités se présentent en 2070 en fonction des résultats de la R&D sur la technologie prospective (comprenant son site d'implantation) et du coût de ce nouveau mode de mise en sécurité définitive, comparé à celui du stockage géologique profond.

Au final dans l'option 2, on note que parmi les trois branches de l'arbre de décision, deux configurations de gestion sont possibles :

- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo (branches 2.1.a et 2.2) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, tandis que les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective (branches 2.1.b).

Comme pour l'option de projet 1, nous présentons les coûts bruts avec l'approche déterministe, puis en tenant compte de l'approche probabiliste, puis des prix relatifs, reflétant l'élasticité au PIB et enfin, en appliquant le système d'actualisation.

En complément, le lecteur peut se reporter à l'annexe 16 pour disposer de plus de détails et visualiser les représentations graphiques.

5.3.1 Coût brut de l'option 2

Le tableau ci-dessous compile les différents coûts unitaires des branches de l'option 2, selon les configurations de gestion :

Tableau 5.3-1 Coût brut de l'option 2, en €2019

Option 2	Branches 2.1.a et 2.2	Branche 2.1.b	Dont branche commune (<2070)
Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond	
Choix de gestion pour les HA		Technologie prospective	
Coût de mise en place de Cigéo	25 811 M€	15 110 M€	11 626 M€[60]
Coût de R&D	3 570 M€	3 570 M€	3 570 M€
Coût de recherche de site	1 653 M€	6 294 M€	1 653 M€

[60] Le coût de mise en place de Cigéo diffère dans cette option à partir de 2069 (et non 2070), en raison de la décision concernant la construction du bâtiment nucléaire de surface (EP2) destiné à la préparation des déchets HA. En effet, dans les branches 2.1.a et 2.2 de l'option 2, ce bâtiment est construit à partir de 2069. Nous supposons que le décideur public aura acquis assez d'information à cette date pour décider du lancement de sa construction ou non. Aussi, la branche dite « commune », diffère sur l'année 2069 pour ce cas précis. Le montant est ainsi de 11 677 M€ pour les branches 2.1.a et 2.2 et de 11 626 M€ pour la branche 2.1.b.

Option 2	Branches 2.1.a et 2.2	Branche 2.1.b	Dont branche commune (<2070)
Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond	
Choix de gestion pour les HA		Technologie prospective	
Coût de technologie prospective	-	11 636 M€	-
Coût d'entreposage (surcoût par rapport à l'option de projet 1)	-	48 M€	-
Coût de transport	1 472 M€	1 472 M€	850 M€
Coût des GIP	420 M€	420 M€	420 M€
Coût brut total	**32 926 M€**	**38 550 M€**	**18 119 M€**

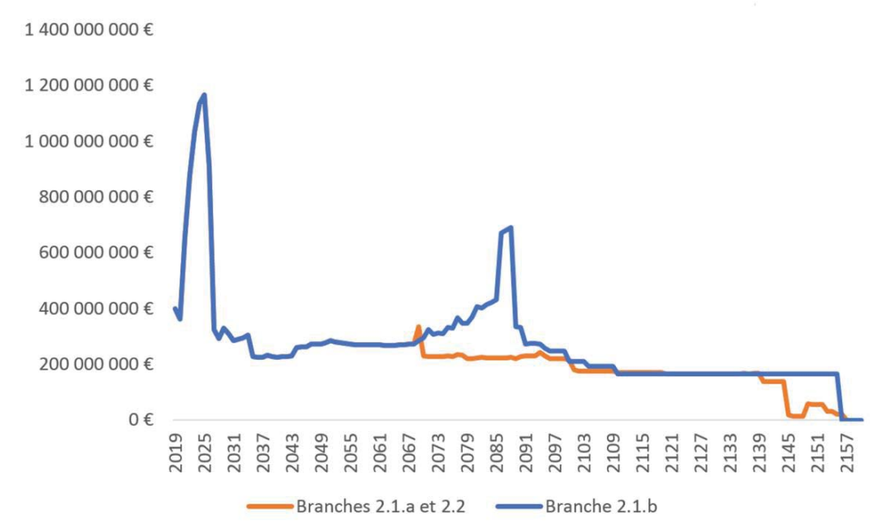
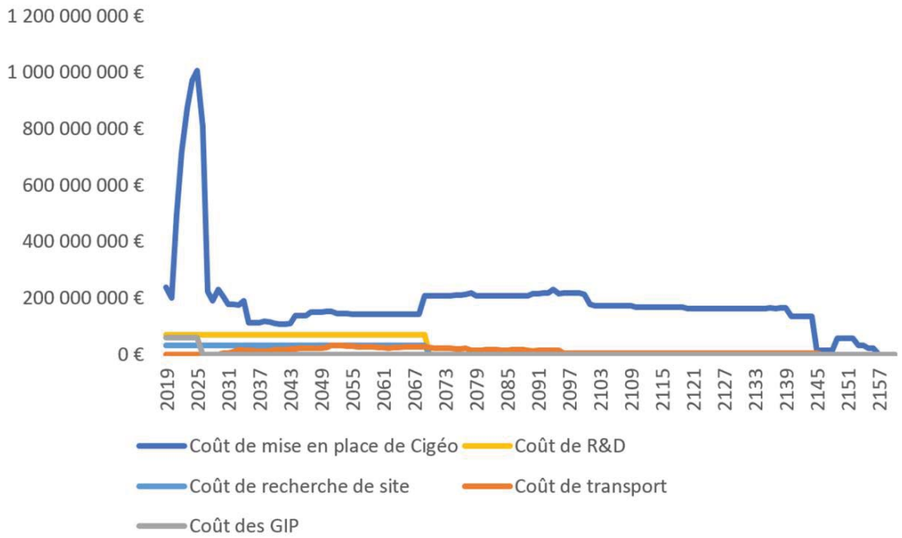
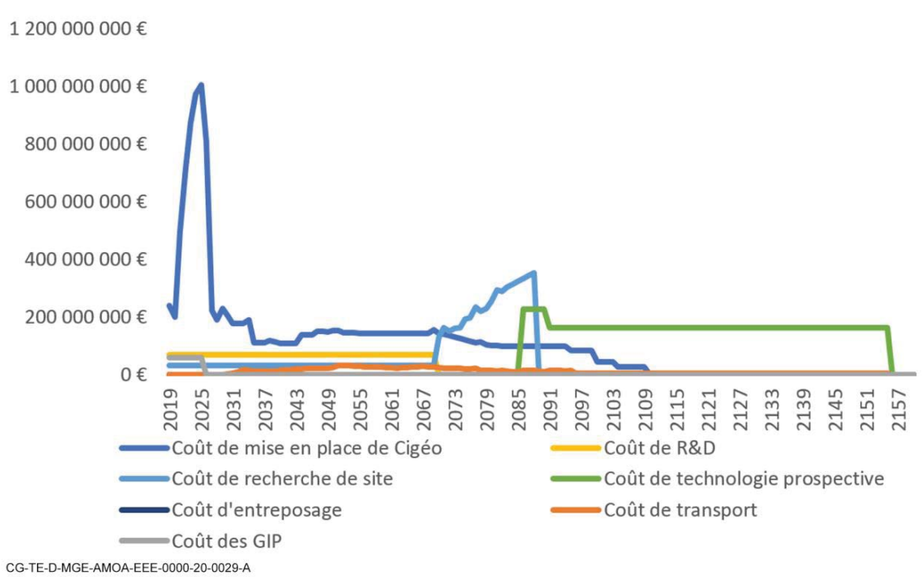


Figure 5.3-1 Chronique des coûts pour les trois branches de l'option 2



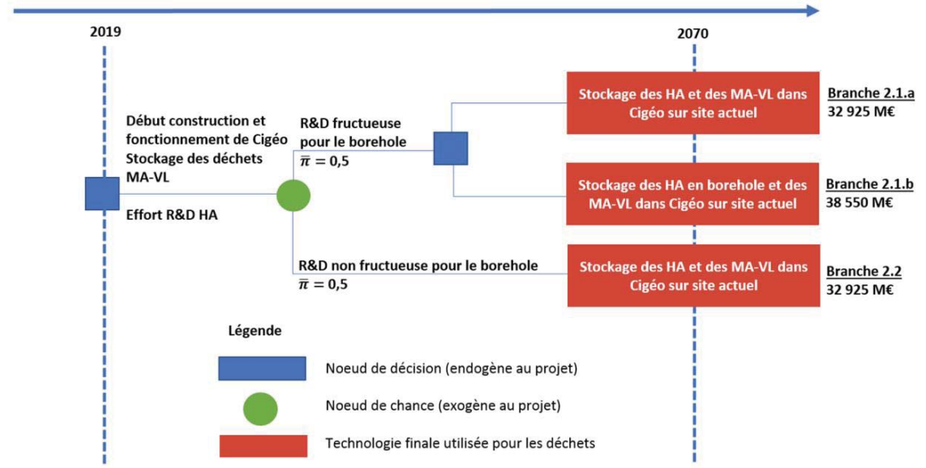
CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0028-A

Figure 5.3-2 Chronique des coûts pour les branches 2.1.a et 2.2 de l'option 2



CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0029-A

Figure 5.3-3 Chronique des coûts pour la branches 2.1.b de l'option 2



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0035-B

Figure 5.3-4 Coût des différentes branches de l'option 2

En déterministe, la valeur espérée de l'option 2 coûte 32 925 millions d'euros. La valeur espérée est ici la valeur de la branche la moins chère, et celle-ci est toujours disponible (elle n'est pas soumise à une probabilité de succès de R&D ou autre). Cette approche déterministe ne tient pas compte du caractère aléatoire des coûts, ni de l'évolution des prix relatifs, ni de l'actualisation.

5.3.2 Prise en compte du risque d'aléa sur les coûts de l'option 2 et de l'évolution des prix relatifs

Pour tenir compte des plages de risque entourant la valeur de chacun des coûts unitaires, une simulation de Monte-Carlo de 10 000 tirages est réalisée.

De plus, comme pour l'option de projet 1, des prix relatifs sont appliqués aux coûts bruts de l'option 2, pour tenir compte des élasticités des différents coûts à l'évolution du PIB, lequel varie sensiblement en fonction des *scenarii*.

Les résultats de la prise en compte de l'aléa et des prix relatifs sont présentés ci-dessous en scénario OK et en scénario KO, pour les différentes valeurs des élasticités déterminées au chapitre 3.2.3.2 du présent document.

Tableau 5.3-2 *Coût des branches de l'option 2 en tenant compte des aléas sur les coûts et de l'évolution des prix relatifs, en €$_{2019}$*

Coût de l'option 2 avec l'aléa sur les coûts et les prix relatifs, en €$_{2019}$			
Choix de gestion pour les MA-VL		Stockage géologique profond	Stockage géologique profond
Choix de gestion pour les HA			Technologie prospective
Option 2	Taux d'actualisation	Branches 2.1.a et 2.2	Branche 2.1.b
OK	Haut	107 473 M€	130 325 M€
	Intermédiaire	63 060 M€	75 057 M€
	Bas	40 129 M€	46 880 M€
KO	Haut	57 418 M€	67 280 M€
	Intermédiaire	47 190 M€	55 217 M€
	Bas	39 107 M€	45 653 M€

En prenant en compte l'évolution des prix relatifs, et avant actualisation, il ressort que la mise en place de Cigéo pour les déchets HA et MA-VL (branches 2.1.a et 2.2.) reste moins onéreuse que la mise en place de la technologie de forage profond (borehole) pour les HA si celle-ci est trouvée (branche 2.1.b).

5.3.3 Coût actualisé de l'option 2 et espérance

Enfin, nous présentons les coûts actualisés de l'option 2, c'est-à-dire en tenant compte de l'effet du temps long. Pour ce faire, des taux d'actualisation différenciés sont mobilisés selon le scénario OK ou KO, comportant une borne haute, une borne intermédiaire et une borne basse. Les valeurs de ces taux sont explicités au chapitre 3.3.2 du présent document.

5.3.3.1 Scénario OK

Les résultats de l'option 2 actualisés du scénario OK sont présentés dans la Figure ci-dessous, pour la borne haute (H), la borne basse (B) et la borne intermédiaire (I) du taux d'actualisation. Ils tiennent compte de l'aléa sur les coûts bruts et de l'évolution des prix relatifs.

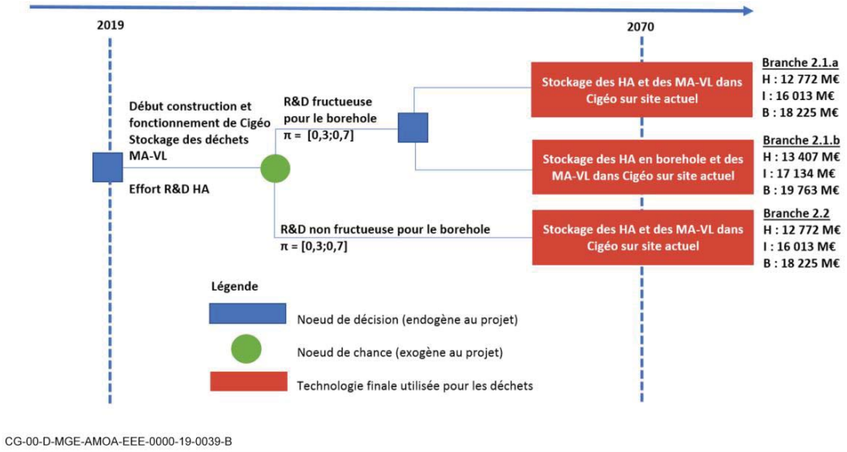


Figure 5.3-5 *Résultats des branches de l'option 2, pour la borne haute, basse et intermédiaire du taux d'actualisation, scénario OK*

On observe que, après actualisation, il est toujours préférable de mettre en œuvre Cigéo, quel que soit le taux d'actualisation choisi. L'espérance de l'option est alors tout simplement égale au coût des branches les moins chères, c'est-à-dire les branches 2.1.a et 2.2, soit 12 771 millions d'euros avec la borne haute du taux d'actualisation, 18 225 millions d'euros avec la borne basse et 16 013 millions d'euros avec la borne intermédiaire.

5.3.3.2 Scénario KO

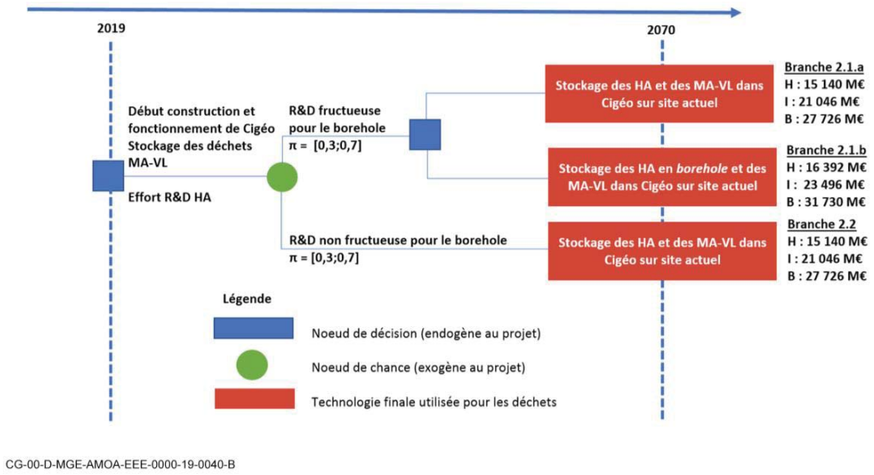


Figure 5.3-6 *Résultats des branches de l'option 2, pour la borne haute, basse et intermédiaire du taux d'actualisation, scénario KO*

Comme en scénario OK, il est toujours préférable de mettre en œuvre Cigéo (branches 2.1.a et 2.2) plutôt que la technologie prospective en scénario KO. Le risque associé à ce choix est important, comme en scénario OK.

5.3.4 Comparaison avec les coûts de l'option de projet 1

Une fois l'espérance des branches de l'option 2 calculée, nous pouvons comparer cette option à l'option de projet 1. On observe que quel que soit le scénario et quelle que soit la borne du taux d'actualisation retenue, l'option de projet 1 est toujours moins coûteuse que l'option 2.

Ce résultat n'est pas surprenant compte tenu du fait que dans l'option 2, en parallèle de la construction initiale du centre de stockage Cigéo, un investissement conséquent en R&D est consenti pour trouver une technologie prospective pour le stockage des déchets HA, qui d'ailleurs ne présente pas de bénéfice supplémentaire par rapport à l'option de projet 1.

Tableau 5.3-3 Récapitulatif du coût de l'option de projet 1 et de l'espérance de l'option 2, en fonction des taux d'actualisation et scenarii

Option	Espérance du coût actualisé en scénario OK	Espérance du coût actualisé en scénario KO
Option de projet 1	H : 9 836 M€ B : 14 482 M€ I : 12 544 M€	H : 11 646 M€ B : 22 835 M€ I : 16 741 M€
Option 2	H : 12 771 M€ B : 18 225 M€ I : 16 013 M€	H : 15 140 M€ B : 27 726 M€ I : 21 046 M€

H : taux d'actualisation haut ; I : taux d'actualisation intermédiaire ; B : taux d'actualisation bas

5.3.4.1 Scénario OK

La réalisation de simulations Monte-Carlo sur la différence entre le coût de l'option de projet 1 et l'espérance de coût de l'option 2 nous permet de (i) estimer le delta de coût moyen entre les deux options et (ii) estimer le pourcentage de chance que l'option de projet 1 soit moins chère que l'option 2.

- avec le taux d'actualisation élevé, l'option de projet 1 coutera en moyenne 2 935 millions d'euros de moins que l'espérance de l'option 2. L'option de projet 1 sera moins chère que l'option 2 dans 100 % des cas.
- avec un taux d'actualisation intermédiaire, l'option de projet 1 coutera en moyenne 3 469 millions d'euros de moins que l'espérance de l'option 2. L'option de projet 1 sera moins chère que l'option 2 dans 100 % des cas ;
- avec un taux d'actualisation bas, l'option de projet 1 coutera en moyenne 3 743 millions d'euros de moins que l'espérance de l'option 2. L'option de projet 1 sera moins chère que l'option 2 dans 100 % des cas ;

5.3.4.2 Scénario KO

La différence entre le coût de l'option de projet 1 et l'espérance de coût de l'option 2 indique que :

- avec le taux d'actualisation haut, l'option de projet 1 coutera en moyenne 3 494 millions d'euros de moins que l'espérance de l'option 2. L'option de projet 1 sera moins chère que l'option 2 dans 100 % des cas ;

- avec un taux d'actualisation intermédiaire, l'option de projet 1 coutera en moyenne 4 305 millions d'euros de moins que l'espérance de l'option 2. L'option de projet 1 sera moins chère que l'option 2 dans 100 % des cas ;
- avec un taux d'actualisation faible, l'option de projet 1 coutera en moyenne 4 891 millions d'euros de moins que l'espérance de l'option 2. L'option de projet 1 sera moins chère que l'option 2 dans 100 % des cas.

5.4 Coût de l'option 3

Rappelons que l'option 3 consiste à entreprendre la construction initiale et la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo, et en parallèle, à investir dans la recherche jusqu'en 2070 en vue de trouver une technologie prospective pour les HA et pour les MA-VL.

Au final dans l'option 3, on note ainsi que parmi les six branches de l'arbre de décision, trois configurations de gestion sont possibles :

- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours à la technologie prospective (branche 3.1.a) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, tandis que les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective (branches 3.1.c et 3.2.a) ;
- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo (branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3).

Les différentes catégories de coûts sont détaillées ci-après. En complément, le lecteur peut se reporter à l'annexe 17 pour disposer de plus de détails et visualiser les représentations graphiques.

5.4.1 Coût brut de l'option 3

Selon les différentes branches, le coût brut des branches de l'option 3 peut se résumer ainsi :

Tableau 5.4-1 Coût brut de l'option 3, en €$_{2019}$

Option 3	Branche 3.1.a	Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3	Branches 3.1.c et 3.2.a	Dont branche commune (<2070)
Choix de gestion pour les MA-VL	Technologie prospective	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond	
Choix de gestion pour les HA			Technologie prospective	
Coût de mise en place de Cigéo	10 571 M€	26 737 M€	16 813 M€	9 322 M€
Coût de R&D	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€
Coût de recherche de site	6 294 M€	1 653 M€	6 294 M€	1 653 M€
Coût de technologie prospective	50 436 M€	-	11 636 M€	-
Coût d'entreposage (surcoût par rapport à l'option de projet 1)	3 243 M€	2 103 M€	2 150 M€	589 M€
Coût de transport	1 582 M€	1 472 M€	1 472 M€	110 M€
Coût des GIP	420 M€	420 M€	420 M€	420 M€
Coût brut total	**79 686 M€**	**39 525 M€**	**45 925 M€**	**19 234 M€**

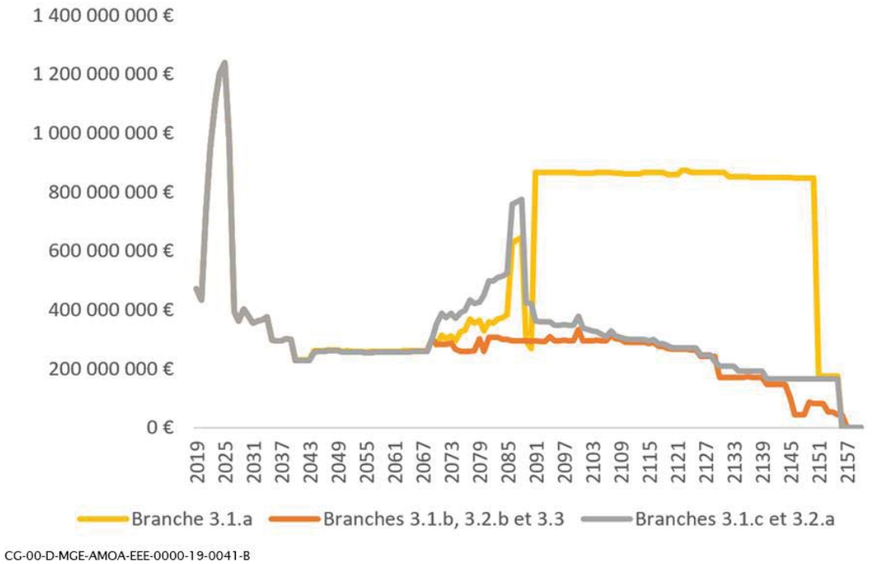


Figure 5.4-1 Chronique du coût brut des 6 branches de l'option 3, regroupées en 3 branches distinctes, en €$_{2019}$

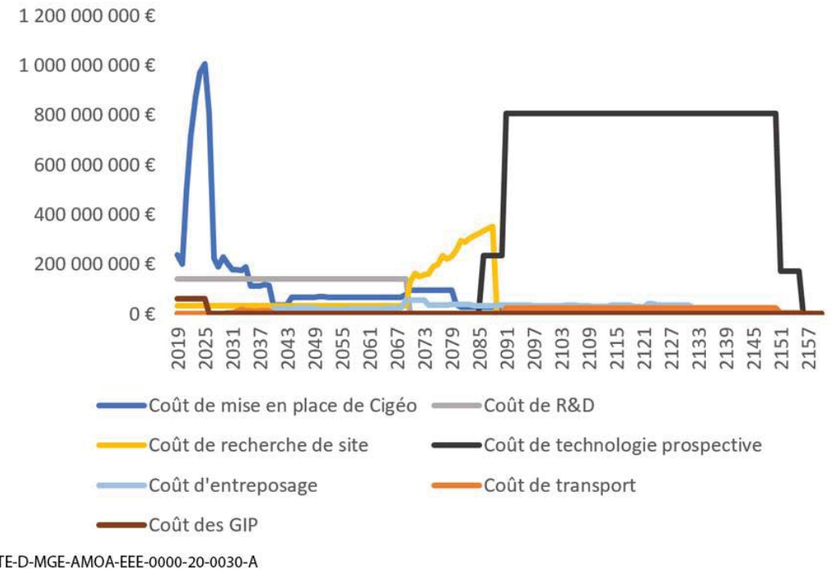


Figure 5.4-2 Chronique du coût brut de la branche 3.1.a de l'option 3, en €$_{2019}$

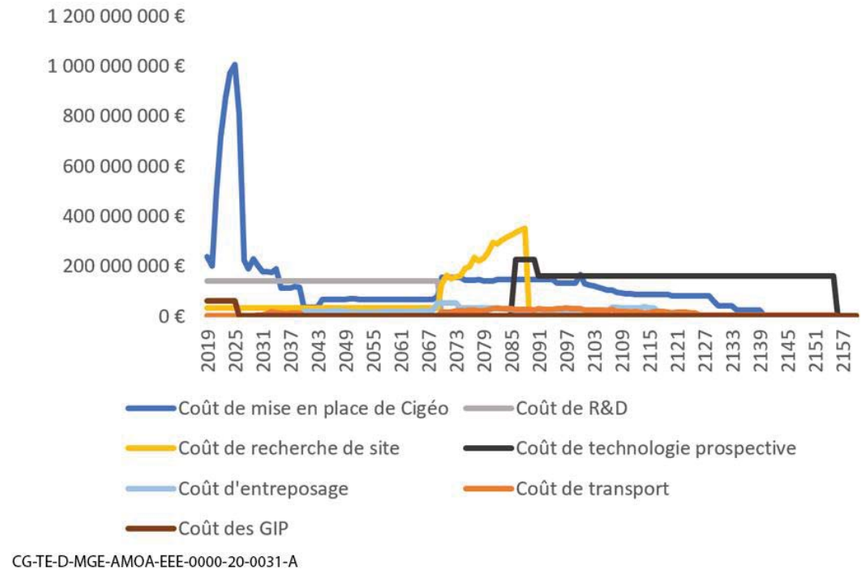


Figure 5.4-3 *Chronique du coût brut des branches 3.1.c et 3.2.a de l'option 3, en €$_{2019}$*

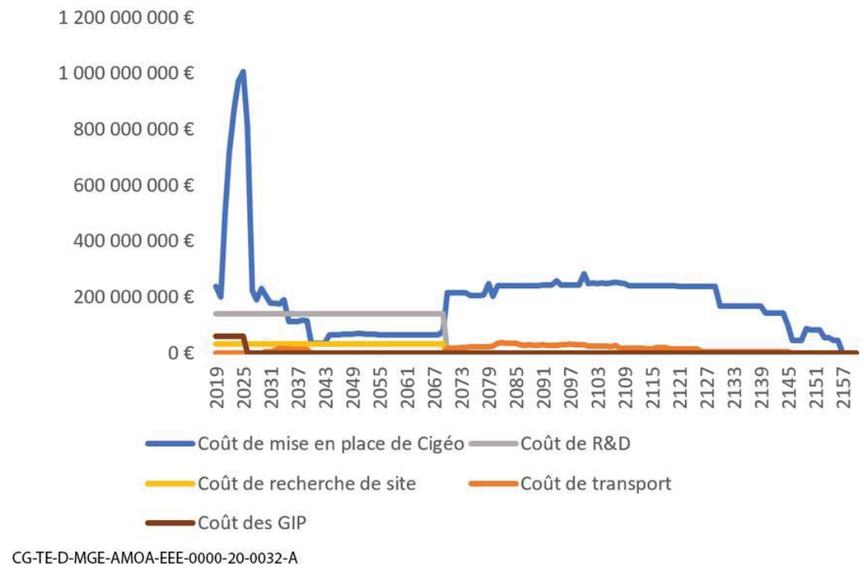


Figure 5.4-4 *Chronique du coût brut des branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 de l'option 3, en €$_{2019}$*

5.4.2 Prise en compte du risque d'aléa sur les coûts de l'option 3 et de l'évolution des prix relatifs

En appliquant aux coûts unitaires les distributions possibles concernant les aléas sur les coûts (approche probabiliste, basée sur une simulation de Monte-Carlo avec 10 000 tirages) et les évolutions dans le temps (élasticités des prix par rapport au PIB), nous obtenons les résultats par branche présentés dans les arbres ci-dessous.

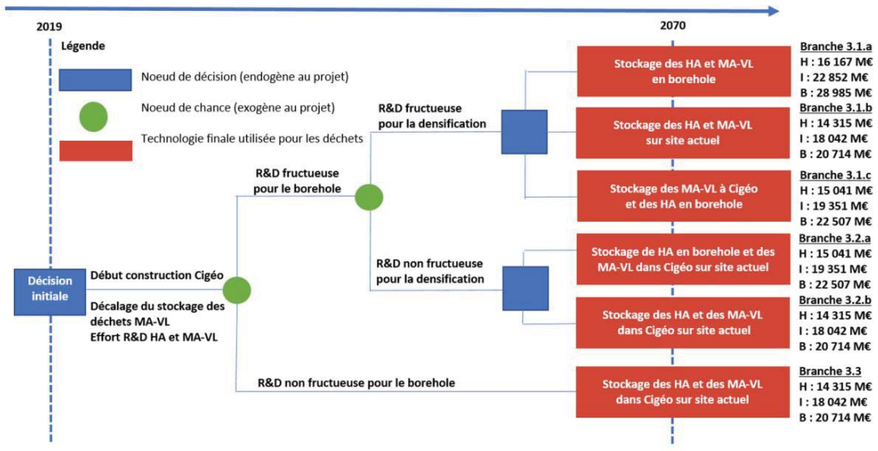
Tableau 5.4-2 *Coût simulé des branches de l'option 3 en tenant compte de l'aléa des coûts et de l'évolution des prix relatifs, en €$_{2019}$*

Coût de l'option 3 avec prise en compte de l'aléa sur les coûts et des prix relatifs, en €$_{2019}$				
Choix de gestion pour les MA-VL		Technologie prospective	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond
Choix de gestion pour les HA				Technologie prospective
Scénario	Taux d'actualisation	Branche 3.1.a	Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3	Branches 3.1.c et 3.2.a
OK	Haut	382 288 M€	136 972 M€	162 395 M€
	Intermédiaire	190 214 M€	78 136 M€	91 755 M€
	Bas	100 294 M€	48 319 M€	56 030 M€
KO	Haut	151 991 M€	69 594 M€	81 052 M€
	Intermédiaire	120 192 M€	56 925 M€	66 180 M€
	Bas	95 574 M€	46 960 M€	54 449 M€

5.4.3 Coût actualisé de l'option 3 et espérance

Les résultats d'une simulation de Monte-Carlo de 10 000 tirages, avec prise en compte des aléas sur les coûts bruts, de l'évolution des prix relativement au PIB et du temps long (actualisation) sont présentés ci-après, pour chaque scénario, et avec les bornes haute (H), basse (B) et intermédiaire (I) du taux d'actualisation.

5.4.3.1 Scénario OK



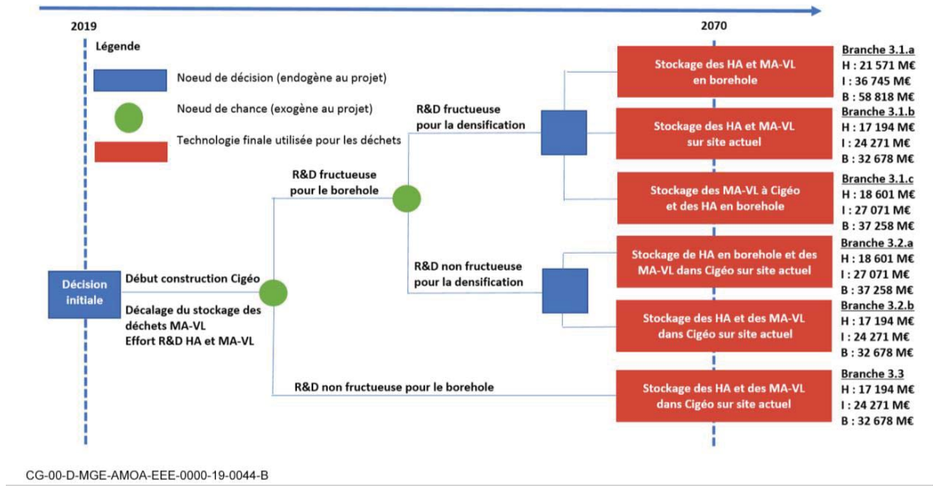
CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0043-B

Figure 5.4-5 Résultats des branches de l'option 3 , pour les bornes haute, intermédiaire et basse du taux d'actualisation, scénario OK

Quel que soit le taux d'actualisation mobilisé – haut, intermédiaire ou bas -, il est toujours préférable de stocker les déchets HA et MA-VL au sein de Cigéo, plutôt que de mobiliser une technologie prospective, même si la R&D est fructueuse. L'espérance de la branche est donc tout simplement égale au coût des branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3, puisque la branche qui présente le coût actualisé le plus faible est toujours disponible. La valeur de cette branche est égale à :

- 14 315 millions d'euros avec le taux d'actualisation élevé. ;
- 18 042 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire ;
- 20 714 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas.

5.4.3.2 Scénario KO



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0044-B

Figure 5.4-6 Résultats des branches de l'option 3 , pour les bornes haute, intermédiaire et basse du taux d'actualisation, scénario KO

Comme pour le scénario OK, la décision optimale est toujours de mettre en place le stockage géologique profond Cigéo pour les déchets HA et MA-VL, quel que soit le taux d'actualisation. L'espérance de la branche est donc tout simplement égal au coût des branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3, soit :

- 17 194 millions d'euros avec le taux d'actualisation élevé ;
- 24 271 millions d'euros avec le taux d'actualisation intermédiaire ;
- 32 678 millions d'euros avec le taux d'actualisation bas.

5.4.4 Comparaison avec les coûts de l'option de projet 1

Tableau 5.4-3 Récapitulatif du coût de l'option de projet 1 et de l'espérance de l'option 3, en fonction des taux d'actualisation et scenarii

Option	Espérance du coût actualisé, scénario OK	Espérance du coût actualisé, scénario KO
Option de projet 1	H : 9 836 M€ B : 14 482 M€ I : 12 544 M€	H : 11 646 M€ B : 22 835 M€ I : 16 741 M€
Option 3	H : 14 315 M€ B : 20 714 M€ I : 18 042 M€	H : 17 194 M€ B : 32 678 M€ I : 24 271 M€

H : taux d'actualisation haut ; I : taux d'actualisation intermédiaire ; B : taux d'actualisation bas

Cette option 3 est très largement battue par l'option de projet 1 dans le scénario OK. Qu'un taux d'actualisation élevé, intermédiaire ou bas soit utilisé, l'option de projet 1 est moins chère que l'espérance de projet 3 dans 100 % des 10 000 tirages effectués ; le delta s'élève, en moyenne, à 4 479 millions d'euros avec un taux d'actualisation élevé, 5 498 millions d'euros avec un taux d'actualisation intermédiaire et 6 232 millions d'euros avec un taux d'actualisation faible.

Comme en scénario OK, l'option 3 est très largement battue par l'option de projet 1 en scénario KO. Le delta est en faveur de l'option de projet 1 dans 100 % des cas, quel que soit le taux d'actualisation utilisé, s'élève en moyenne à 5 548 millions d'euros avec un taux d'actualisation élevé, 7 530 millions d'euros avec un taux d'actualisation intermédiaire et 9 843 millions d'euros avec un taux d'actualisation faible.

5.5 Coût de l'option 4

Rappelons que dans l'option 4, la configuration est celle d'un décideur public qui considère un report des premiers investissements du centre de stockage Cigéo et qui lance à la place des investissements de R&D pour tenter de trouver une solution prospective alternative de mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL. Le décideur public fait donc le choix de ne pas réaliser le centre de stockage Cigéo dans l'immédiat, et accepte de faire face au double risque portant sur l'issue de la R&D et sur le maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne.

Au final dans l'option 4, on note ainsi que parmi les douze branches de cet arbre de décision, huit configurations de gestion distinctes se présentent :

- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo à partir de 2080 (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 et les déchets HA sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne à partir de 2080 (branche 4.1.b) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne à partir de 2080 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.1.c et 4.3.b) ;
- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.1.d et 4.2) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond sur un nouveau site à partir de 2100 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.4) ;
- soit les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours à de l'entreposage de longue durée renouvelé à partir de 2100 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2080 (branche 4.5) ;
- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond sur un nouveau site à partir de 2100 (branche 4.7) ;
- soit tous les déchets sont gérés en ayant recours à de l'entreposage de longue durée renouvelé à partir de 2100 (branche 4.8).

Les différentes catégories de coûts sont détaillées ci-après. En complément, le lecteur peut se reporter à l'annexe 18 pour disposer de plus de détails et visualiser les représentations graphiques.

5.5.1 Coût brut de l'option 4

Le coût brut (déterministe) des différentes branches de l'option 4 sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 5.5-1 Coût brut de l'option 4, en €2019

Option 4	Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6	Branche 4.1.b	Branches 4.1.c et 4.3.b	Branches 4.1.d et 4.2	Branche 4.4	Branche 4.5	Branche 4.7	Branche 4.8
Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond	Technologie prospective	Stockage géologique profond	Technologie prospective	Stockage géologique profond sur nouveau site	Entreposage de longue durée renouvelé	Stockage géologique profond sur nouveau site	Entreposage de longue durée renouvelé
Choix de gestion pour les HA		Stockage géologique profond	Technologie prospective		Technologie prospective	Technologie prospective		
Coût de mise en place de Cigéo	25 518 M€	16 183 M€	14 909 M€	-	14 909 M€	-	25 518 M€	-
Coût de R&D	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€	7 140 M€
Coût de recherche de site	1 653 M€	6 294 M€	6 294 M€	6 294 M€	10 283 M€	7 644 M€	5 642 M€	3 003 M€
Coût de technologie prospective	-	39 798 M€	11 784 M€	50 436 M€	11 784 M€	11 784 M€	-	-
Coût d'entreposage (surcoût par rapport à l'option de projet 1)	3 203 M€	3 804 M€	3 203 M€	3 804 M€	5 453 M€	29 780 M€	5 960 M€	35 452 M€
Coût de transport	1 472 M€	1 472 M€	1 472 M€	1 472 M€	1 472 M€	231 M€	1 472 M€	-

Option 4	Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6	Branche 4.1.b	Branches 4.1.c et 4.3.b	Branches 4.1.d et 4.2	Branche 4.4	Branche 4.5	Branche 4.7	Branche 4.8
Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond	Technologie prospective	Stockage géologique profond	Technologie prospective	Stockage géologique profond sur nouveau site	Entreposage de longue durée renouvelé	Stockage géologique profond sur nouveau site	Entreposage de longue durée renouvelé
Choix de gestion pour les HA		Stockage géologique profond	Technologie prospective		Technologie prospective	Technologie prospective		
Coût des GIP	1 740 M€	1 740 M€	1 740 M€	1 740 M€	1 740 M€	1 740 M€	1 740 M€	1 740 M€
Coût de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne	1 652 M€	1 652 M€	1 652 M€	1 652 M€	1 652 M€	1 652 M€	1 652 M€	1 652 M€
Coût de maintien des compétences	1 224 M€	1 224 M€	1 224 M€	1 224 M€	1 944 M€	13 968 M€	1 944 M€	13 968 M€
Coût brut total	**43 602 M€**	**79 305 M€**	**49 418 M€**	**73 762 M€**	**56 378 M€**	**73 940 M€**	**51 068 M€**	**62 955 M€**

Les chroniques des différents paramètres de coûts de l'ensemble des branches sont présentés ci-dessous (l'Annexe 18 fournit les détails de calcul des coûts unitaires, ainsi que leurs chroniques et propose des représentations graphiques).

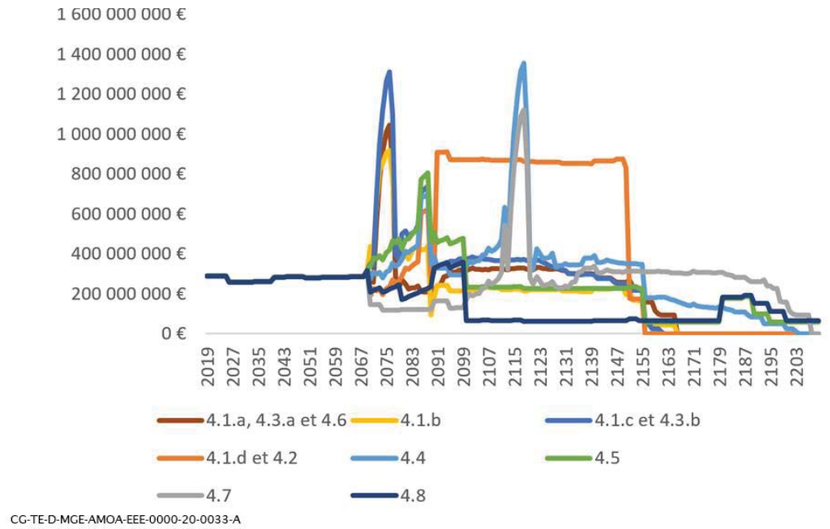


Figure 5.5-1 *Chronique du coût brut de l'ensemble des branches de l'option 3, jusqu'en 2110, regroupés par branche distincte, en €$_{2019}$*

- **Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 :** dans ces branches, tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond et sont stockés dans le centre de stockage Cigéo à partir de 2080.

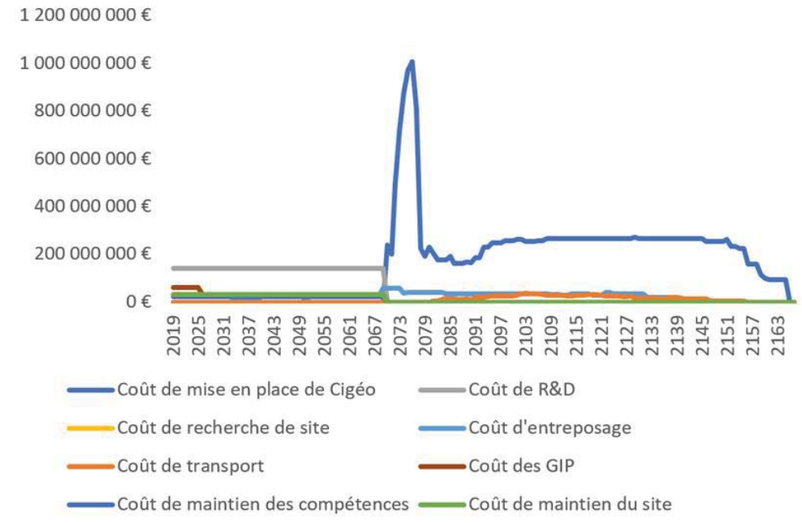


Figure 5.5-2 *Chronique du coût des branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6, par type de coût*

- **Branche 4.1.b :** dans cette branche, les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2091 et les déchets HA sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo sur le site Meuse/Haute-Marne à partir de 2080.

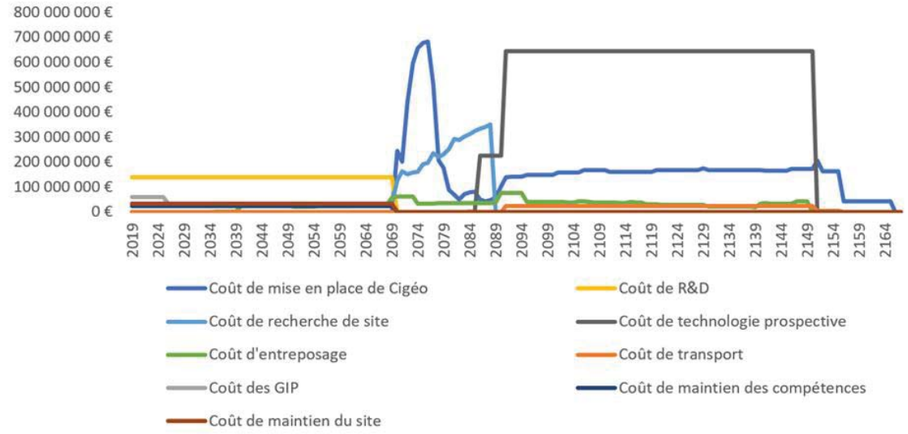


Figure 5.5-3 Chronique du coût de la branche 4.1.b, par type de coût

- **Branches 4.1.c et 4.3.b** : dans ces branches, les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo sur le site Meuse/Haute-Marne à partir de 2080 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2091.

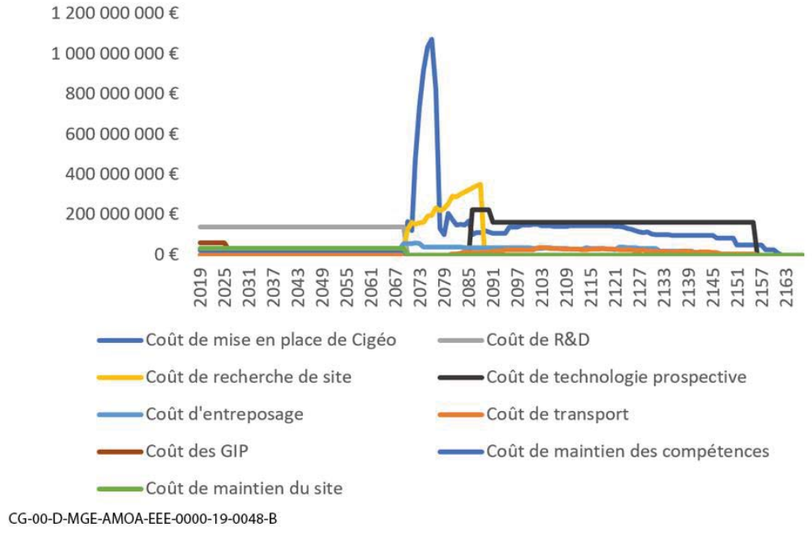


Figure 5.5-4 Chronique du coût des branches 4.1.c et 4.3.b, par type de coûts

- **Branches 4.1.d et 4.2 :** dans ces branches, tous les déchets sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2091.

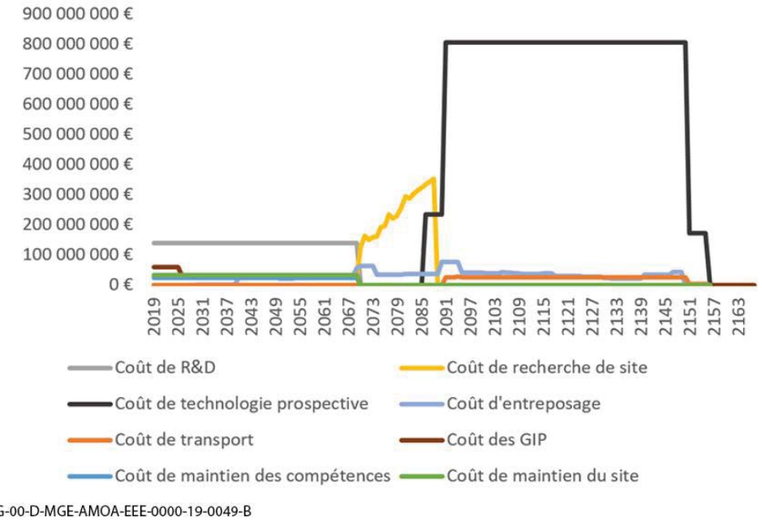


Figure 5.5-5 Chronique du coût des branches 4.1.d et 4.2, par type de coûts

Dans ces branches, les déchets HA et MA-VL sont stockés au sein d'une technologie prospective à partir de 2091. On note ainsi d'importants coûts de fonctionnement entre 2091 et 2150 pour les MA-VL, qui alourdissent considérablement le coût de ces branches.

- **Branche 4.4 :** dans cette branche, les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond sur un nouveau site à partir de 2122 et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2091.

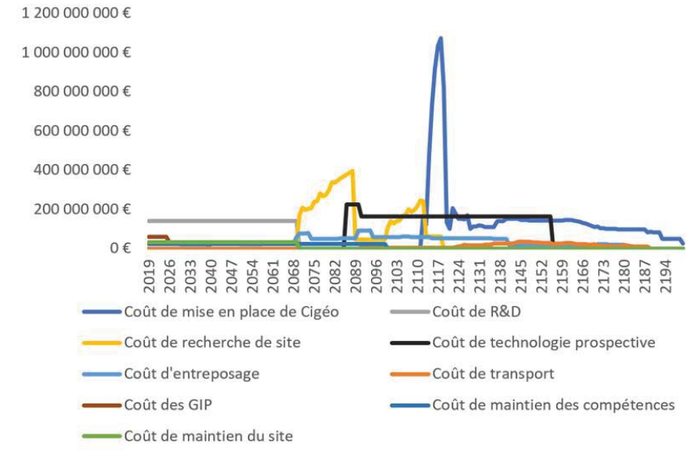


Figure 5.5-6 Chronique du coût de la branche 4.4, par type de coûts

Cette branche présente des coûts élevés de recherche de site, puisqu'une séquence est réalisée pour rechercher un site pour les HA en lien avec une technologie prospective, et une séquence pour chercher un nouveau site de stockage géologique profond à partir de 2070 pour les déchets MA-VL.

- **Branches 4.5 :** dans cette branche, les déchets MA-VL sont gérés en ayant recours à de l'entreposage de longue durée renouvelé à partir de 2100 et jusqu'à la fin de la période d'étude (2600) et les déchets HA sont gérés en ayant recours à la technologie prospective à partir de 2091.

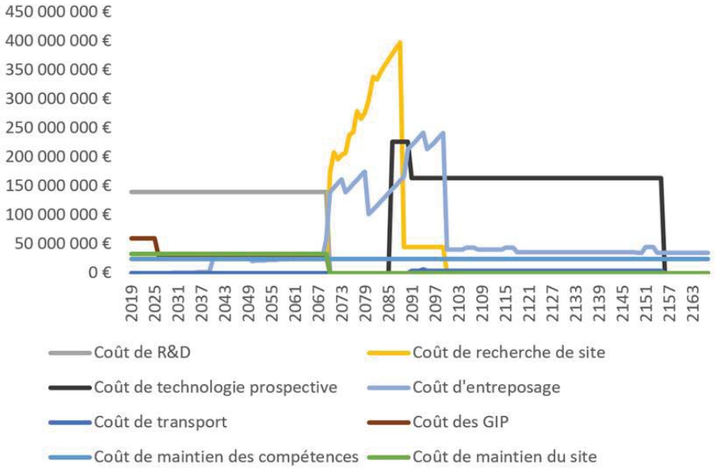


Figure 5.5-7 Chronique du coût de la branche 4.5 par type de coût, jusqu'à 2165

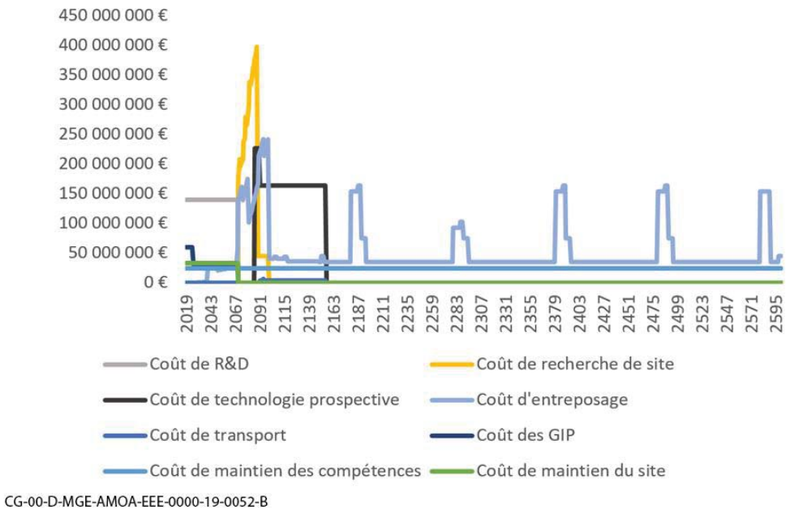


Figure 5.5-8 Chronique du coût de la branche 4.5 par type de coût, jusqu'en 2600

- **Branche 4.7 :** dans cette branche, tous les déchets sont gérés en ayant recours au stockage géologique profond sur un nouveau site à partir de 2122.

Les chroniques des différentes catégories de coûts sont représentées ci-après.

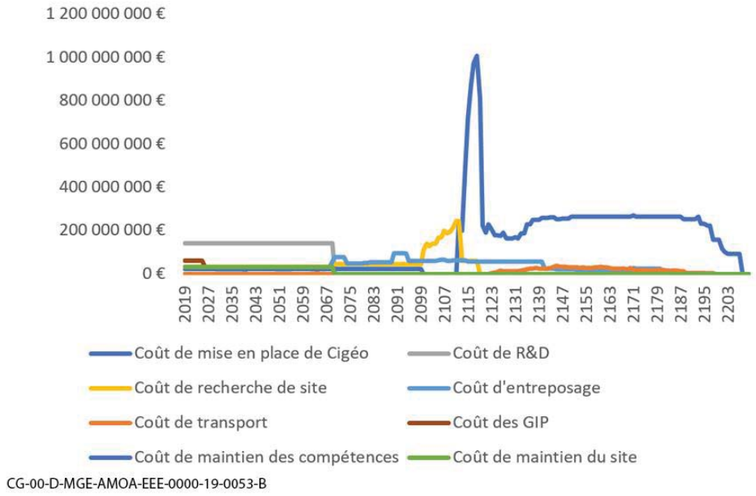


Figure 5.5-9 Chronique du coût de la branche 4.7 par type de coût

- **Branche 4.8 :** dans ces branches, tous les déchets sont gérés en ayant recours à de l'entreposage de longue durée renouvelé à partir de 2100 ; la R&D n'a été fructueuse ni pour les HA, ni pour les MA-VL, le site de Meuse/Haute-Marne a été perdu, et, malgré 30 ans de recherches lancées en 2070, aucun site alternatif n'a été identifié.

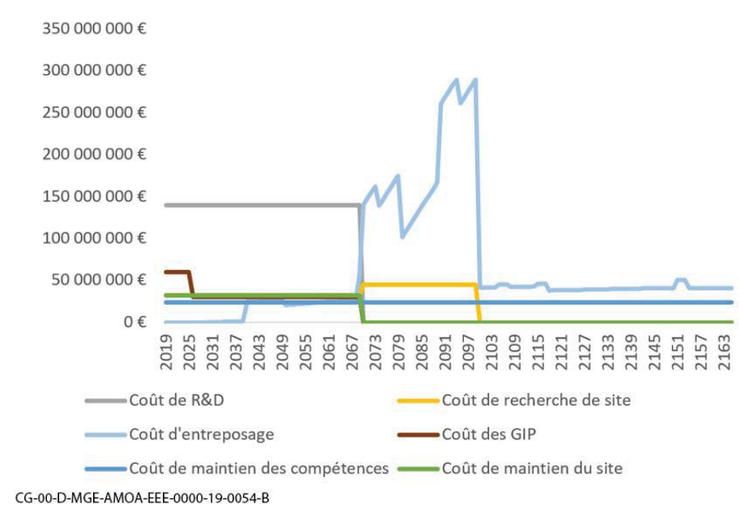
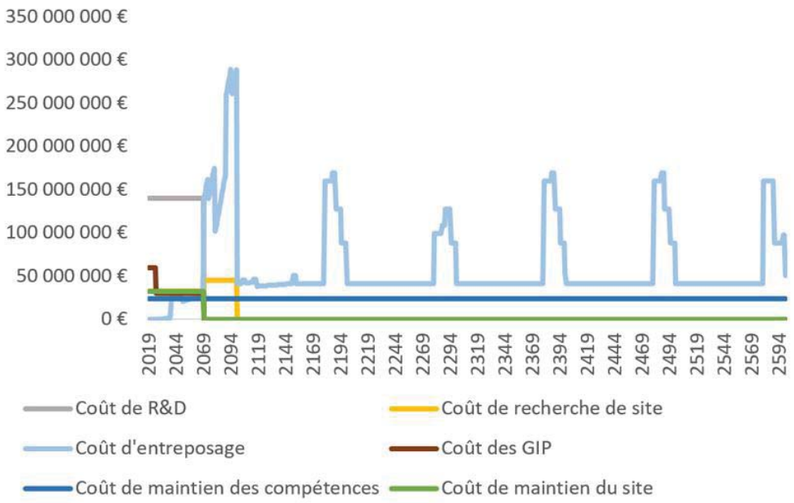


Figure 5.5-10 Chronique du coût de la branche 4.8 par type de coût, jusqu'en 2165



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0055-B

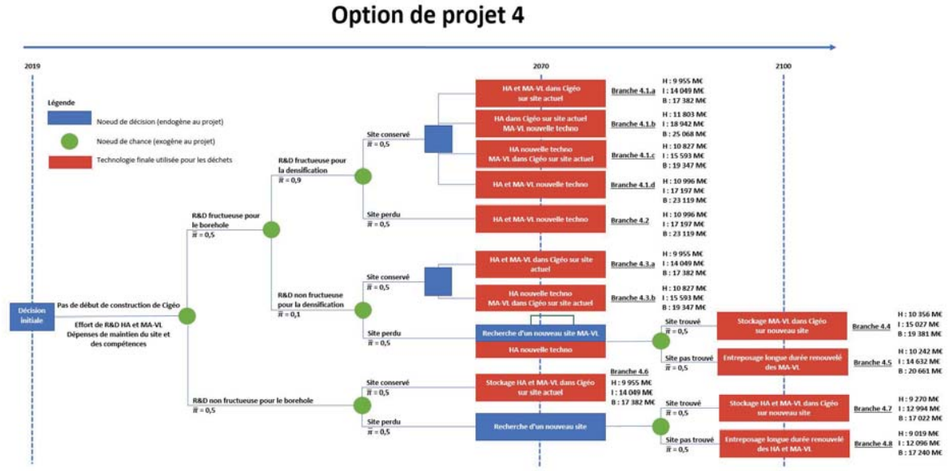
Figure 5.5-11 Chronique du coût de la branche 4.8 par type de coût, jusqu'en 2600

5.5.2 Coût actualisé de l'option 4 et espérance, après prise en compte du risque d'aléas sur les coûts, de l'évolution des prix

Ce chapitre présente directement les coûts après prise en compte des aléas sur les coûts (approche probabiliste avec 10 000 tirages), de l'évolution des prix relatifs (élasticité au PIB) et du temps long (actualisation). Les résultats sont présentés pour chaque scénario, avec la borne haute (H), la borne intermédiaire (I) et la borne basse (B) du taux d'actualisation.

5.5.2.1 Scénario OK

Les résultats d'une simulation de Monte-Carlo de 10 000 tirages sont présentés dans l'arbre de la Figure 5.5-12 ci-après.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0056-B

Figure 5.5-12 Coût actualisé des branches de l'option 4, taux d'actualisation haut, intermédiaire et bas, scénario OK

Comme pour les précédentes options, les différences de coûts entre les branches sont mineures.

- Pour un taux d'actualisation élevé, la branche la moins onéreuse de cette option est celle d'un entreposage de longue durée renouvelé ; celle-ci s'élève à 9 019 millions d'euros. Cette branche pose toutefois une question de cohérence interne de l'arbre de décision : le décideur public a tout intérêt à espérer qu'aucune technologie ni aucun site ne soit trouvé, ou de refuser de les mettre en place si ces derniers sont trouvés en 2070 et/ou en 2100, malgré un investissement important en R&D et en recherche de site. Ce hiatus pousse à investiguer les conséquences d'une option dans laquelle il serait immédiatement décidé de s'en tenir à de l'entreposage de longue durée renouvelé, sans même lancer de l'investissement en recherche et développement en vue de trouver une solution prospective de mise en sécurité définitive des déchets (voir la variante de l'option 4 ci-dessous).
- Pour le taux d'actualisation intermédiaire, la branche la moins onéreuse de cette option est la même : un entreposage de longue durée renouvelé pour un coût s'élevant à 12 096 millions d'euros, ce qui pose à nouveau la question de cohérence interne décrite ci-dessus.
- Pour le taux d'actualisation bas, le résultat et le raisonnement sont légèrement différents : c'est la branche 4.7 qui présente le coût global actualisé le plus faible (17 022 millions d'euros). Cette branche n'est toutefois pas toujours accessible : avec une probabilité comprise entre 0,3 et 0,7, distribué uniformément, et en moyenne de 0,5, le site sera perdu. Dans ce cas, le choix le moins coûteux est de continuer l'entreposage de longue durée renouvelé, soit la branche 4.8. Ainsi, l'espérance est, en moyenne, simplement égale à la moyenne des deux branches, soit 17 133 millions d'euros.

Nous pouvons ajouter une condition à ces choix dans l'arbre de décision : supposer qu'une priorité est donnée à une solution de mise en sécurité définitive. Dès lors, une solution définitive est mise en œuvre si une solution existe en 2070 ou en 2100, même s'il est moins couteux d'attendre. Ainsi, en actualisation haute, l'espérance est de 9 995 millions d'euros :

- avec une probabilité de 0,5 en moyenne, le site de Meuse/Haute-Marne est conservé ; le décideur public met alors en œuvre Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne, pour un coût moyen de 9 955 millions d'euros .
- avec une probabilité de 0,225, une technologie prospective (et un nouveau site) sont trouvés pour les déchets HA et MA-VL ; le décideur public met alors en œuvre la technologie pour les déchets HA et MA-VL, pour un coût moyen de 10 996 millions d'euros.
- avec une probabilité de 0,25 le site de Meuse/Haute-Marne est perdu, et aucune technologie n'est trouvée ; l'espérance de cette sous-branche est le produit pondéré de l'entreposage de longue durée et le stockage des HA et des MA-VL au sein de Cigéo sur un nouveau site, soit 9 145 millions d'euros.
- avec une probabilité de 0,025, le site de Meuse/Haute-Marne est perdu, et une technologie prospective n'est trouvée que pour les HA. L'espérance moyenne de cette sous-branche est de 10 299 millions d'euros (10 356*0,5 + 10 242*0,5).

En taux bas et intermédiaire, les cheminements sont identiques, et les espérances de 18 676 millions d'euros et 14 400 millions d'euros, respectivement.

» VARIANTE DE L'OPTION 4 SANS R&D : QUEL COÛT D'UNE VARIANTE CONSIDÉRANT L'ABANDON DÈS À PRÉSENT D'UNE MISE EN SÉCURITÉ DÉFINITIVE DES DÉCHETS RADIOACTIFS ?

Les estimations du coût actualisé de l'option 4 suggèrent que le décideur public pourrait être incité, pour des raisons purement économiques, à ne pas chercher à gérer durablement les déchets radioactifs, alors même que ce principe est inscrit dans la loi. Nous estimons le coût d'une variante de l'option 4, dans laquelle il n'y aurait que des coûts d'entreposage de longue durée renouvelé, mais aucune dépense de R&D et aucune dépense de recherche de site, ni pour Cigéo, ni pour aucune technologie prospective.

Sans tenir compte dans un premier temps, de la probabilité d'accident, le **coût brut** de cette variante de l'option 4 est de 49 840 millions d'euros, dont 35 452 millions d'euros d'entreposage, 13 968 millions d'euros de maintien des compétences et 420 millions d'euros de GIP.

En scénario OK, le coût de cette variante de l'option 4 (entreposage de longue durée renouvelé sans R&D) est de 2 303 millions d'euros avec la borne haute du taux d'actualisation, 4 026 millions d'euros avec la borne intermédiaire et 8 448 millions d'euros avec la borne basse.

En scénario KO, le coût de cette variante de l'option 4 (entreposage de longue durée renouvelé sans R&D) est de 3 577 millions d'euros avec la borne haute du taux d'actualisation, 8 306 millions d'euros avec la borne intermédiaire et 23 836 millions d'euros avec la borne basse du taux d'actualisation.

Le coût de l'accident dans cette variante fera l'objet d'un paragraphe complémentaire dans le chapitre 6.6.1.3 du présent document.

5.5.2.2 Scénario KO

Les résultats d'une simulation de Monte-Carlo de 10 000 tirages sont présentés dans l'arbre de la Figure 5.5-13 ci-après.

À la différence du scénario OK, et en ne tenant compte à ce stade que des coûts de l'option 4, l'entreposage de longue durée renouvelé est moins coûteux que les autres branches de l'option 4 avec le taux d'actualisation haut et le taux d'actualisation intermédiaire :

- Avec un taux d'actualisation élevé, le coût actualisé minimal au sein de cette option est obtenu en ne mettant en place aucune solution de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, même si une technologie prospective et un site sont trouvés. Les déchets HA et MA-VL sont gérés par de l'entreposage de longue durée renouvelé, pour un coût moyen de 11 739 millions d'euros ;
- Avec un taux d'actualisation intermédiaire, le coût actualisé minimal est également obtenu avec l'entreposage de longue durée renouvelé, pour un coût moyen de 18 638 millions d'euros.
- Avec un taux d'actualisation bas, le coût actualisé minimal est obtenu par la mise en œuvre du centre de stockage Cigéo pour les déchets HA et MA-VL si le site est conservé (33 067 millions d'euros) ; si le site est perdu, l'entreposage de longue durée renouvelé est la solution la moins coûteuse (35 842 millions d'euros). Le site de Meuse/Haute Marne n'est conservé qu'avec une probabilité comprise entre 0,3 et 0,7, et en moyenne de 0,5 ; l'espérance moyenne de l'arbre est ainsi de 34 455 millions d'euros.

En posant l'hypothèse d'une priorité donnée à un choix de mise en sécurité définitive, même si celle-ci est plus coûteuse que l'entreposage de longue durée renouvelé, le raisonnement est identique à celui en scénario OK. L'espérance de la branche atteint 38 430 millions d'euros avec un taux d'actualisation bas, 23 522 millions d'euros avec un taux d'actualisation intermédiaire et 14 038 millions d'euros avec un taux d'actualisation haut.

Pour mémoire, la Figure 5.5-14 rappelle les probabilités associées à chaque branche de l'option 4.

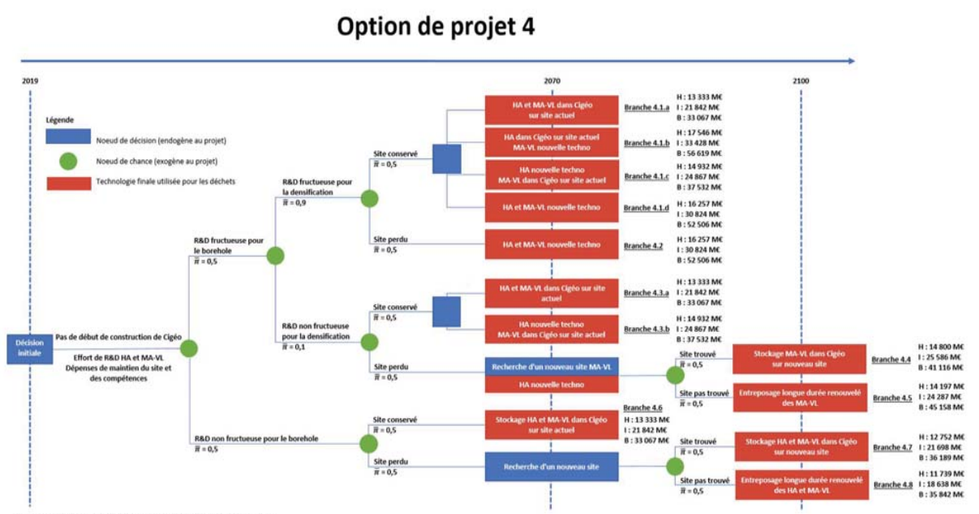


Figure 5.5-13 Coût actualisé des branches de l'option 4, taux d'actualisation haut, intermédiaire et bas, scénario KO

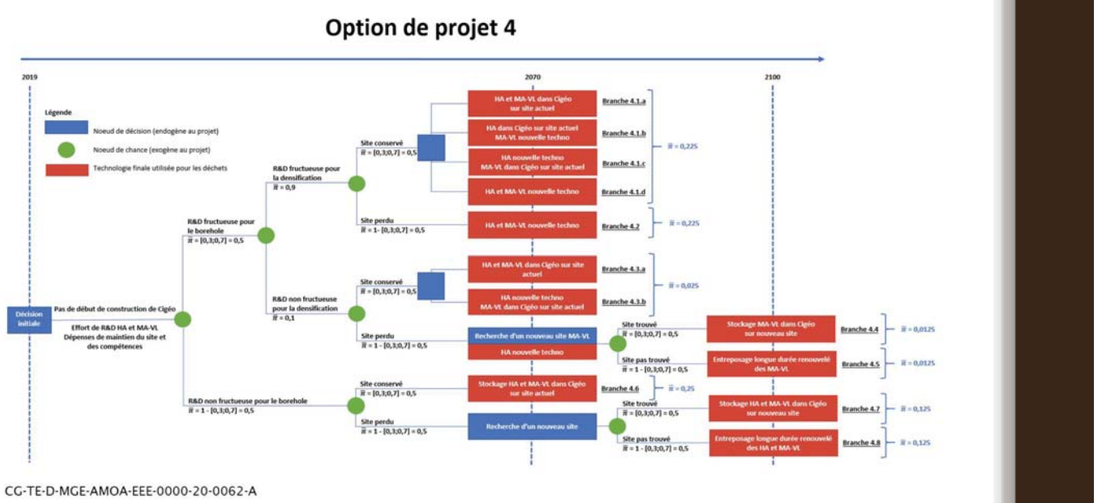


Figure 5.5-14 Probabilité des branches de l'option 4

5.5.3 Comparaison avec les coûts de l'option de projet 1

5.5.3.1 Scénario OK

Tableau 5.5-2 Comparaison des coûts de l'option de projet 1 et de l'option 4, en scénario OK

Scénario OK	Taux d'actualisation haut	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation bas
Option de projet 1	9 836 M€	12 544 M€	14 482 M€
Option 4	9 019 M€	12 096 M€	17 133 M€
Delta moyen (option 4 - option de projet 1)	-817 M€	-448 M€	2 651
Probabilité que l'option de projet 1 soit moins chère que l'option 4	35 %	44 %	86 %

Pour résumer, dans le scénario OK qui ne tient compte que des coûts, la décision dépend de la préférence du taux d'actualisation :

- avec un taux d'actualisation élevé ou intermédiaire, l'espérance de coût de l'option 4 est inférieure au coût de l'option de projet 1 ; la différence entre les options est toutefois ténue ; la probabilité que l'option de projet 1 l'emporte est tout de même de 35 % avec un taux d'actualisation élevé, et de 44 % avec un taux d'actualisation intermédiaire.
- avec un taux d'actualisation faible, l'option de projet 1 est préférable à l'espérance de l'option 4, pour une probabilité de 86 %.

5.5.3.2 Scénario KO

Tableau 5.5-3 Comparaison des coûts de l'option de projet 1 et de l'option 4, en scénario KO (uniquement sur les coûts)

Scénario KO	Taux d'actualisation haut	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation bas
Option de projet 1	11 646 M€	16 741 M€	22 835 M€
Option 4	11 739 M€	18 638 M€	34 455 M€
Delta moyen (option 4 - option de projet 1)	93 M€	1 897 M€	11 620 M€
Probabilité que l'option de projet 1 soit moins chère que l'option 4	51 %	60 %	99 %

En ne tenant compte que des coûts, dans le scénario KO, l'option de projet 1 (la réalisation du centre de stockage Cigéo comme prévu par l'Andra en réponse à la loi) est préférable à l'option 4, et ce quel que

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des coûts des différentes options

soit le taux d'actualisation utilisé. Rappelons qu'en scénario KO, une probabilité d'accident est introduite. Les conséquences de l'accident sont étudiées dans le chapitre 6 et les résultats complets de l'analyse coût-bénéfice sont présentés dans le chapitre 7 du présent document.

5.6 Récapitulatif du coût des options

5.6.1 Scénario OK

5.6.1.1 Actualisation haute

Le tableau suivant reprend pour la borne haute de l'actualisation l'ensemble des espérances de coûts des quatre options, ainsi que, pour les options 2, 3 et 4, le delta moyen avec l'option de projet 1 (un signe positif indique que l'option de projet 1 est l'option au coût global actualisé le plus bas ; alternativement, un signe négatif indique que l'option 2, 3 ou 4 aboutit à un coût global actualisé inférieur au coût global actualisé de l'option de projet 1), et la probabilité que le coût global actualisé de l'option de projet 1 soit inférieur au coût global actualisé des autres options, sur les 10 000 tirages.

Tableau 5.6-1 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne haute du taux d'actualisation

Scénario OK Actualisation haute	Coût actualisé espéré de l'option	Coût actualisé espéré pour une priorité donnée à un choix de mise en sécurité définitive	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	9 836 M€			
Option 2	12 771 M€		2 935 M€	100 %
Option 3	14 315 M€		4 479 M€	100 %
Option 4	9 019 M€	9 995 M€	-817 M€	35 %

5.6.1.2 Actualisation intermédiaire

Tableau 5.6-2 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, valeur intermédiaire du taux d'actualisation

Scénario OK Actualisation intermédiaire	Coût actualisé espéré de l'option	Coût actualisé espéré pour une priorité donnée à un choix de mise en sécurité définitive	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	12 544 M€			
Option 2	16 013 M€		3 469 M€	100 %
Option 3	18 042 M€		5 498 M€	100 %
Option 4	12 096 M€	14 400 M€	- 488 M€	44 %

5.6.1.3 Actualisation basse

Tableau 5.6-3 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne basse du taux d'actualisation

Scénario OK Actualisation basse	Coût actualisé espéré de l'option	Coût actualisé espéré pour une priorité donnée à un choix de mise en sécurité définitive	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	14 482 M€			
Option 2	18 225 M€		3 743 M€	100 %
Option 3	20 714 M€		6 232 M€	100 %
Option 4	17 133 M€	18 676 M€	2 651 M€	86 %

5.6.2 Scénario KO

Notons qu'à ce stade de l'évaluation socioéconomique, les résultats de l'option 4 dans ce chapitre ne sont encore que partiels, puisqu'ils ne comparent que le coût des options et n'intègrent pas la modélisation des bénéfices. Ce sera l'objet du chapitre 6 ci-après.

5.6.2.1 Actualisation haute

Tableau 5.6-4 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario KO, borne haute du taux d'actualisation

Scénario KO Actualisation haute	Coût actualisé espéré de l'option	Coût actualisé espéré pour une priorité donnée à un choix de mise en sécurité définitive	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	11 646 M€			-
Option 2	15 140 M€		3 493 M€	100 %
Option 3	17 194 M€		5 548 M€	100 %
Option 4	11 739 M€	13 748 M€	93 M€	51 %

5.6.2.2 Actualisation intermédiaire

Tableau 5.6-5 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario KO, borne intermédiaire du taux d'actualisation

Scénario KO Actualisation intermédiaire	Coût actualisé espéré de l'option	Coût actualisé espéré pour une priorité donnée à un choix de mise en sécurité définitive	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	16 741 M€			
Option 2	21 046 M€		4 305 M€	100 %
Option 3	24 271 M€		7 530 M€	100 %
Option 4	18 638 M€	23 522 M€	1 897 M€	60 %

5.6.2.3 Actualisation basse

Tableau 5.6-6 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario KO, borne basse du taux d'actualisation

Scénario KO Actualisation basse	Coût actualisé espéré de l'option	Coût actualisé espéré pour une priorité donnée à un choix de mise en sécurité définitive	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	22 835 M€			
Option 2	27 726 M€		4 891 M€	100 %
Option 3	32 678 M€		9 843 M€	100 %
Option 4	34 455 M€	38 430 M€	11 620 M€	99 %

6

Quantification des bénéfices et risques évités par les différentes options

6.1 Propos préliminaires et présentation de la démarche de sûreté du centre de stockage Cigéo 184
6.2 Hypothèses de sûreté des autres options 188
6.3 Analyse différentielle qualitative des périodes de risque, selon les *scenarii* 189
6.4 Définition des périmètres d'intervention et de l'accident à considérer 191
6.5 Coûts unitaires de l'incendie sur un site d'entreposage imaginé 201
6.6 *Scenarii*, probabilités et conséquences d'un incendie en entreposage 209

Le baromètre 2020 de l'IRSN interroge la perception des risques et de la sécurité par les Français (79) et pose notamment la question « *parmi les activités industrielles ou technologiques suivantes, quelles sont celles qui selon vous risquent le plus de provoquer un accident grave ou une catastrophe en France ?* ». La première réponse est « les centrales nucléaires » (33 % de citations), la deuxième est « le stockage des déchets radioactifs » (20 %)[61], suivi en troisième par les installations chimiques (18 %).

Le projet à l'étude concerne non pas une centrale nucléaire mais une installation qui vise à accueillir les déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue, qu'ils aient été produits et qu'ils restent à produire par le parc nucléaire actuel français en activité (installations nucléaires de base (INB) existantes ou autorisées). L'évaluation se doit d'analyser d'une part les risques spécifiques relatifs au projet, et d'autre part la façon dont le projet permet de s'en prémunir.

La gestion des déchets radioactifs est une activité réglementée par l'Autorité de sûreté nucléaire. Les installations d'entreposage de colis de déchets HA et MA-VL sont des INB soumises à une réglementation contraignante qui vise à protéger l'homme et l'environnement contre les effets des rayonnements ionisants. Le transport des déchets radioactifs est soumis à une réglementation spécifique basée sur des standards élaborés par l'Agence internationale de l'énergie atomique (réglementation ADR[62]). Le centre de stockage Cigéo, classé également comme INB et dont le Dossier d'option de sûreté (DOS) a fait l'objet d'un examen approfondi par l'IRSN et par l'ASN, sera soumis au référentiel d'exigences de toute INB et à des exigences supplémentaires liées à son caractère unique : une période de fonctionnement de plus d'un siècle et une démonstration de sûreté passive sur le très long terme, à savoir plusieurs centaines de milliers d'années.

Il est important de préciser ici que les risques inhérents à l'activité d'une installation nucléaire de base sont pris en compte dès sa conception afin qu'un dimensionnement adéquat permette à l'installation de résister aux situations accidentelles jugées crédibles.

Le débat public sur le PNGMDR a permis aux acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs d'apporter des éléments de réponse aux différentes réserves exprimées, des éclairages à certaines des questions posées en montrant les barrières mobilisées pour limiter les risques et donc démontrer la robustesse des solutions techniques.

Le centre de stockage Cigéo diffère des autres INB de par sa dimension temporelle : l'installation vise à protéger l'homme et l'environnement des rayonnements ionisants émis par les déchets HA et MA-VL sur le très long terme et apporte une solution de mise en sécurité définitive pour la gestion de ces déchets. Sur le très long terme, il y a ainsi une transition depuis une approche active de la sûreté de l'installation (intervention et responsabilité humaine constante et directe) vers une approche passive : la géologie prend le relais de l'homme ce qui permet de ne plus faire reposer la sûreté sur l'existence d'une société stable et « vigilante ».

L'entreposage de longue durée, en maintenant les déchets radioactifs dans des entrepôts en surface, laisse une accessibilité plus directe aux déchets radioactifs. Cela a l'avantage de laisser ouverte la possibilité de voir émerger d'autres solutions issues de la recherche. En contrepartie, cela impose le maintien de l'intervention humaine pour assurer une surveillance, ainsi que pour reconstruire et entretenir périodiquement les installations temporaires d'entreposage, tant que les déchets resteront dangereux.

Pour tenir compte du risque accidentel, cette évaluation se place sous l'hypothèse d'une continuité institutionnelle dans le cadre du scénario OK. En complément, l'évaluation considère un scénario dans lequel une dégradation du niveau de développement finirait par entraîner, au bout de plusieurs décennies, un relâchement des exigences sociales et des normes réglementaires en matière de sûreté – c'est le scénario KO.

---

61 Le baromètre 2020 précise que « après un léger recul en 2017 et 2018, le stockage de déchets radioactifs reprend la deuxième place aux installations chimiques avec 20 % de citations (+ 5 points par rapport à 2018, pour revenir aux niveaux de 2011-2013). Cette hausse ne semble pas être à rapprocher d'évènements particuliers qui auraient pu être médiatisés en 2019. »

62 ADR est l'acronyme en anglais de : Accord for Dangerous goods by Road ; en français : Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par la route (80).

Les accidents à envisager diffèrent selon les installations concernées et les phases techniques dans lesquelles ils surviennent (transport, fonctionnement, démantèlement, etc.). Dans la société en ordre de marche du scénario OK, l'ensemble des risques est pris en compte et la conception des ouvrages est dimensionnée pour les intégrer, selon les contraintes imposées par les autorités en charge de la sûreté nucléaire. On peut ainsi supposer que la probabilité d'un accident majeur est inférieure ou égale à 10^{-6} par an (c'est-à-dire inférieure ou égale au millionième), qui correspond au standard de sûreté de l'Agence internationale de l'énergie atomique, et qu'en cas de survenue de l'événement, des dispositifs importants de gestion de crise et de limitations de dommages entreraient en jeu. Ainsi dans l'évaluation socioéconomique, les risques accidentels, estimés en termes d'espérance de dommages, paraissent négligeables dans l'ensemble des options sous le scénario OK en comparaison des autres grandeurs en jeu.

Cette évaluation socioéconomique interroge toutefois la stabilité sociétale du scénario OK sur le temps long, laissant émerger la possibilité de basculer dans une société chaotique modélisée par le scénario KO. Logiquement, les risques accidentels dans un tel scénario sont très supérieurs et doivent être appréciés au regard de la sûreté assurée par la conception des solutions de gestion des déchets radioactifs envisagées :

- Dans le cas du stockage géologique profond, la sûreté sur le temps long est assurée de manière passive par la couche géologique, obtenue une fois l'installation fermée. Après fermeture, les risques accidentels du centre de stockage Cigéo dans une société chaotique (ou ayant perdu toute mémoire institutionnelle) sont appréhendés à travers un scénario, décrit de manière qualitative, d'intrusion humaine. Leur analyse est faite dans le dossier d'options de sûreté du projet indiquant que les conséquences humaines et environnementales d'une telle intrusion resteraient malgré tout limitées.
- Dans le cas des solutions prospectives envisagées par cette évaluation socioéconomique (le stockage par forage profond avec ou sans densification préalable), il est imaginé par hypothèse que ces solutions disposent des mêmes exigences de sûreté passive que celles du stockage géologique profond. Par ailleurs, ces solutions de gestion prospective conduiraient, tout comme le stockage en couche géologique profonde, à une gestion passive des déchets radioactifs.
- Dans le cas de l'entreposage de longue durée renouvelé, la conception des installations intègre par définition une démarche de sûreté active, basée sur l'intervention humaine continue portée sur les déchets radioactifs d'une part et sur les installations d'entreposage d'autre part. C'est cette sûreté active qui serait remise en question dans une société chaotique.

Par conséquent, lorsque le risque est envisagé dans le cadre du scénario KO, il est envisagé sur le temps long et affecte les solutions prospectives sans mise en sécurité définitive telle que l'entreposage de longue durée renouvelé. Ce risque d'accident est affecté d'une probabilité comprise entre 10^{-4} et 10^{-3} par an (c'est-à-dire entre le dix-millième et le millième), et l'on estime que ses conséquences, en termes notamment de gestion de crise, seraient mal maîtrisées.

Le chapitre 6.1 du présent document, résume en des termes simples la démarche de sûreté, rappelant les procédures mises en œuvre et les mécanismes physiques qui permettent de limiter ces risques. Ces informations sont issues, parfois de façon extensive, de sources accessibles publiquement et notamment des fiches pédagogiques de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Puis, le chapitre 6.2, expose les hypothèses de sûreté retenues pour les autres options.

Le chapitre 6.3 fait la synthèse différentielle de la sûreté entre les options et met en évidence de quelle manière les différentes options de projet étudiées dans cette évaluation socioéconomique exposent la société au risque accidentel ou au contraire permettent de s'en prémunir.

Ainsi, la logique de l'évaluation socioéconomique revient en lieu et place de la logique d'ingénierie de la sûreté. En effet, le propre de l'évaluation socioéconomique est bien de réaliser une analyse coûts-bénéfices, qui nécessite, par convention au titre de l'évaluation des bénéfices, d'estimer le coût des dommages évités, traduit ici par la monétarisation du coût d'un accident que certaines solutions de gestion des déchets radioactifs peuvent éviter. Dans cette perspective, le chapitre 6.4 de ce document, permet de décrire ce que seraient les conséquences radiologiques d'un accident, en définissant les

périmètres d'intervention : ceux observés dans le cas des accidents de centrale, ceux imaginés pour les besoins de cette évaluation, à savoir un incendie sur un entrepôt suite à l'abandon de l'installation.

Le chapitre 6.5 vise à définir les coûts unitaires d'un tel accident, selon ses différentes composantes, et estime le coût brut de cet accident en recourant à l'application sur les sites nucléaires existants de Marcoule et de La Hague.

Enfin, le chapitre 6.6 intègre le coût d'un accident aux options concernées dans le cadre du scénario KO, afin de réaliser des comparaisons globales avec l'option de projet 1.

6.1 Propos préliminaires et présentation de la démarche de sûreté du centre de stockage Cigéo

La classification usuelle des déchets radioactifs évoquée dans l'introduction de ce présent document, rappelle que les déchets radioactifs sont classés par filière de gestion, selon leur radiotoxicité, leur activité (exprimée en Becquerel[63]) et leur durée de vie. Le niveau d'activité donne une indication sur l'intensité du rayonnement radioactif à un moment donné, donc sur la dangerosité potentielle du déchet.

Les déchets HA, dont l'activité est de plusieurs milliards de Bq/gramme, sont entreposés dans des installations spécifiques sur les sites de production à la Hague et à Marcoule sous forme de colis vitrifiés (les déchets sont incorporés dans une matrice de verre puis conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable). Leur entreposage est nécessaire pendant une cinquantaine d'années afin que leur température baisse suffisamment avant d'être stockés en couche géologique profonde. La durée de vie des déchets HA peut aller jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années. Ils représentent 0,2 % du volume total des déchets radioactifs présents sur le territoire français, et environ 95 % de la radioactivité totale.

Les déchets MA-VL, dont l'activité varie entre 1 million et 1 milliard de Bq/gramme, sont entreposés sur les sites des producteurs à La Hague, Marcoule, Cadarache, Valduc et prochainement au Bugey[64]. Ils représentent 3 % du volume total des déchets radioactifs présents sur le territoire français et 5 % de la radioactivité totale.

Le débat public organisé de mai à décembre 2013 à propos du « Projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (Cigéo) » a permis de mettre en évidence les craintes de certaines parties prenantes (2014 (81)).

À ce titre, parmi la liste des risques, les plus fréquemment invoqués sont les suivants :

- le risque d'accident en phase d'entreposage ;
- le risque pendant la phase de transport des déchets radioactifs, en cas de déraillement d'un convoi ferroviaire ou d'accident d'un convoi routier par exemple ;
- le risque pendant le fonctionnement du centre de stockage Cigéo, en cas d'explosion souterraine ;
- le risque après la fermeture du site, en cas de contamination non maîtrisée du sous-sol ou en cas d'intrusion.

Bien que le risque zéro n'existe pas plus dans l'industrie nucléaire que dans d'autres activités humaines, l'industrie nucléaire met en œuvre de longue date une solide démarche de sûreté.

---

[63] Le Becquerel (Bq) est l'unité légale de mesure internationale de l'activité d'une source radioactive, c'est-à-dire le nombre de transformations ou désintégrations d'atomes qu'y s'y produisent en une seconde.

[64] Une partie des déchets MA-VL relevant d'EDF a vocation à être entreposée dans l'installation ICEDA sur le site du Bugey.

L'objectif de la démarche de sûreté est de réduire au maximum la probabilité de survenue d'un accident et d'en limiter les conséquences dans l'hypothèse où l'accident surviendrait malgré tout. Une fois les objectifs de sûreté définis, des défaillances possibles sont imaginées (séisme, perte d'alimentation électrique, attaque extérieure, etc.) et le comportement de l'installation est simulé. La démarche de sûreté permet de déterminer les mesures (diversité de barrières étanches par exemple) visant à s'assurer que les conséquences d'une défaillance seraient acceptables.

En gestion des risques, le risque est défini comme la combinaison de plusieurs facteurs : l'exposition à un danger, la probabilité d'occurrence d'un événement potentiellement dommageable, la gravité des dommages.

Nous présentons ci-après les risques théoriques associés à la gestion des déchets radioactifs et exposons les exigences de sûreté associées, visant à empêcher l'exposition aux dangers et à en limiter les éventuelles conséquences.

6.1.1 Les risques en phase d'entreposage

Conformément aux prescriptions de l'Agence internationale de l'énergie atomique, les colis de déchets sont entreposés de manière à pouvoir être inspectés, surveillés, récupérés et préservés dans des conditions appropriées en vue de leur gestion ultérieure. Des mesures sont prises pour empêcher la dégradation du confinement de ces colis.

Les évaluations de sûreté portent sur l'ensemble des installations de conditionnement et d'entreposage. Elles visent à examiner les dispositions prises pour assurer leur sûreté.

Les procédés de traitement et de conditionnement des déchets mis en œuvre en France sont principalement le bitumage, la vitrification, l'immobilisation dans le ciment, l'incinération, la thermolyse et le compactage. Les colis produits sont susceptibles d'évoluer, en fonction notamment des modifications apportées aux procédés de conditionnement ou de l'évolution des caractéristiques des déchets produits. Les colis constituent la première barrière de confinement des déchets radioactifs et leur connaissance est essentielle pour évaluer la sûreté des installations d'entreposage et de stockage, susceptibles de les recevoir.

La doctrine de sûreté française est déterministe : un ensemble de mesures de sûreté sont déterminées de façon à abaisser le risque en-deçà d'un seuil estimé acceptable, sans que le risque résiduel fasse l'objet d'une estimation. La probabilité de 10^{-6} par année de fonctionnement et par installation est un objectif fixé par l'Agence internationale de l'énergie atomique qui fournit à l'évaluation socioéconomique une estimation raisonnable de la borne inférieure de la probabilité d'accident majeur. Dans le cas d'un entreposage de déchets radioactifs, cette probabilité de 10^{-6} par an signifie que si l'on observait 10 entrepôts (identiques et identiquement exploités), pendant 100 000 ans, on assisterait à un accident. La borne supérieure de la probabilité d'accident majeur dans une société en ordre de marche, pourrait être de 10^{-5}, selon les évaluations probabilistes de sûreté de niveau II effectuées par l'IRSN pour les REP 900 MW dans les années 2000.

Toutefois, dans une hypothétique société chaotique comme elle est modélisée au travers du scenario KO (cf. chapitre 3 du présent document), on ne peut exclure que les normes de sûreté et de sécurité se dégradent, conduisant à ce que la solution d'entreposage des déchets soit insuffisamment protectrice pour l'homme et l'environnement.

Dans le contexte chaotique du scénario KO, les sites d'entreposage pourraient être insuffisamment surveillés, voire abandonnés, entraînant un défaut de maintenance qui conduirait à la dégradation des barrières de confinement. Dès lors, pour des raisons accidentelles ou de malveillance, un incendie d'entreposage ou d'une mise à nu des colis pourraient survenir, engendrant des coûts économiques, environnementaux et humains, dont certains sont estimés dans le chapitre 6.5 du présent document. La probabilité d'un accident grave dans un tel scénario a été estimée comprise entre 10^{-4} et 10^{-3} par an.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des bénéfices et risques évités par les différentes options

6.1.2 Les risques associés au transport des déchets radioactifs

Les transports de déchets de haute activité sont encadrés par une réglementation spécifique, reposant sur des prescriptions élaborées par l'Agence internationale de l'énergie atomique, afin de protéger le public, les travailleurs et l'environnement des risques que ces transports peuvent présenter : le risque d'irradiation externe de personnes, le risque d'inhalation ou d'ingestion de particules radioactives, la contamination de l'environnement, le risque de criticité.

L'approche de sûreté repose sur 3 niveaux de protection :

Tout d'abord, la **robustesse des emballages** permet d'assurer un maintien des fonctions de sûreté, y compris en cas d'accident sévère ; il s'agit du premier niveau de protection. Afin de garantir cette robustesse, la réglementation prévoit que l'emballage doive résister à des épreuves simulant des incidents et accidents. La robustesse des emballages est particulièrement importante : l'emballage doit apporter par lui-même une protection suffisante pour limiter les conséquences d'un accident sur la population et l'environnement même en cas de délai d'intervention des services de secours.

Les déchets de haute et moyenne activité sont transportés dans des emballages de transport agréés par l'Autorité de sûreté nucléaire, après instruction technique de leurs dossiers de sûreté démontrant leur capacité à résister aux épreuves réglementaires décrites par l'Agence internationale de l'énergie atomique simulant des conditions accidentelles sévères (cumulatives) :

- une épreuve de **chute** sur une dalle indéformable (agréée) d'une hauteur de 9 mètres. Le but est de simuler la chute de grande hauteur en conditions réelles ;
- une épreuve de **poinçonnement** : l'emballage de transport est lâché depuis 1 mètre de hauteur sur un poinçon métallique. Le but est de simuler l'agression de l'emballage par des objets perforants (par exemple des débris arrachés au véhicule lors d'un accident) ;
- une épreuve d'**incendie de 800 °C pendant 30 min**. Cette épreuve simule le fait que le véhicule puisse prendre feu après un accident ;
- une épreuve d'**immersion** sous 15 mètres d'eau pendant 8 heures et sous 200 mètres d'eau pendant une heure. Ces épreuves permettent de tester la résistance à la pression, dans l'hypothèse où l'emballage de transport tomberait dans de l'eau (dans un fleuve en bord de route ou dans un port lors du déchargement d'un navire).

Le deuxième niveau de protection concerne la **fiabilité des opérations de transport**, qui permet de réduire l'occurrence des anomalies, des incidents et des accidents. Cette fiabilité est assurée par le respect des exigences réglementaires, telles que la formation des différents opérateurs, la mise en place d'un système d'assurance de la qualité pour toutes les opérations, le respect des conditions d'utilisation des emballages, l'arrimage efficace des emballages de transport, la signalisation des emballages et des véhicules, etc.

Enfin, le troisième niveau concerne **la gestion des situations d'urgence**, qui permet de limiter les conséquences des incidents et des accidents. Ceci passe par exemple par la préparation et la diffusion aux différents acteurs de consignes à appliquer en cas d'urgence, la mise en place de plans d'urgence, la réalisation d'exercices de crise.

L'ensemble des mesures de sûreté servent à s'assurer que les dispositions prévues pour maîtriser le risque d'un accident pendant la phase de transport sont en place, ce qui est confirmé par la centaine d'inspections réalisées par l'ASN chaque année.

6.1.3 Les risques pris en compte pendant le fonctionnement du centre de stockage Cigéo

Plusieurs facteurs déclenchants qui seraient susceptibles de venir perturber le fonctionnement du centre de stockage Cigéo ont été étudiés[65] :

- **La manutention** : le principal risque consiste en la chute ou l'agression du colis pendant son transfert. L'analyse de ces risques consiste en l'identification des appareils destinés à transférer les objets, des manutentions susceptibles d'être effectuées et des équipements qui pourraient être dégradés en cas de chute de charge ; et en l'identification des dispositions prises par l'exploitant pour minimiser les conséquences d'une telle chute.
- **L'incendie et l'explosion** : le retour d'expérience des installations souterraines conventionnelles (tunnels routiers et ferroviaires, exploitations minières, etc.) montre que la maîtrise des risques liés à l'incendie est un enjeu majeur pour le stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. En particulier, un incendie en milieu souterrain de manière générale se distingue par ses effets d'amplification rapide et les difficultés à gérer les opérations d'extinction. L'approche de sûreté pour le stockage géologique profond consiste à démontrer que les dispositions prévues pour prévenir et limiter les conséquences d'un incendie sont proportionnées et suffisantes (limitation de la présence de matériaux inflammables, compartimentage, etc.) :
  - ✓ Sur ces points, l'IRSN relève que la maîtrise des risques liés à l'incendie nécessitera de porter une attention particulière à deux secteurs précis : la propagation d'un incendie de la zone de travaux vers la zone de stockage, pendant la période de co-activité (période de réalisation concomitante d'activités nucléaires et de construction d'ouvrages souterrains), et à l'intérieur des alvéoles MA-VL où l'intervention humaine n'est pas prévue en cas de départ d'un incendie.
  - ✓ Pour ce qui concerne les risques d'explosion à l'intérieur des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo, les principaux sujets portent sur la prise en compte des risques de dégagement d'hydrogène. Au-delà d'une certaine concentration d'hydrogène dans l'air, l'explosion est possible. Des dispositions de ventilation sont prévues au stade de la conception pour prévenir ce risque.
- **La co-activité**, qui peut exposer au risque d'exposition radiologique du personnel intervenant dans la zone de travaux, à proximité de la zone nucléaire ; et au risque de propagation d'un incendie de la zone de travaux vers la zone nucléaire. Pour minimiser ces risques, le principe d'une séparation physique entre les zones nucléaires et les zones conventionnelles de chantier a été retenue. L'IRSN estime que cette architecture des ouvrages souterrains est cohérente et favorable à la maîtrise des risques liés à la co-activité.
- **Les agressions externes**, comme le risque d'inondation ou de séisme. Les puits et descenderies traverseront deux couches géologiques riches en eau et perméables, avant d'atteindre les installations souterraines. Afin de prévenir le risque d'inondation externe, les revêtements des puits et des descenderies devront être étanches.
- **Les risques liés au séisme** pendant le fonctionnement et à plus long terme. L'Andra a utilisé plusieurs méthodes visant à estimer le séisme maximal retenu pour le dimensionnement des installations. L'IRSN a estimé que la méthode employée pour le déterminer était pertinente, mais le niveau retenu *in fine* reste à expertiser lors de l'instruction des demandes d'autorisation. L'IRSN relève par ailleurs que toute installation en profondeur resterait, quoi qu'il arrive, moins exposée aux dégâts engendrés par un séisme qu'une installation de surface.

[65] Les risques internes et externes du centre de stockage Cigéo, lors de la phase de fonctionnement, ont été développés dans le Dossier d'options de sûreté - Partie exploitation (33), remis par l'Andra à l'ASN en 2016.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des bénéfices et risques évités par les différentes options

6.1.4 La sûreté après la fermeture du centre de stockage Cigéo

Le stockage géologique de déchets radioactifs doit être conçu dans des conditions garantissant, dans le temps, la protection de l'homme et de l'environnement. La sûreté du stockage est fondée avant tout sur la stabilité de la roche durablement confinante et sur le principe d'interposition de barrières multiples entre le déchet et la biosphère : les colis de déchets, les ouvrages du stockage et le milieu géologique. L'évaluation de sûreté consiste à apprécier la capacité de ces barrières à assurer que les défaillances potentielles de certains composants du stockage ne porteraient dans aucune situation conséquences à l'homme et l'environnement.

La roche hôte constitue une barrière géologique naturelle dont la fonction est d'isoler le stockage des perturbations de surface (intrusions humaines, glaciations, érosion) et de confiner la radioactivité au plus près des ouvrages qui contiennent les déchets. Elle doit assurer la sûreté « passive » du stockage après sa fermeture, c'est-à-dire sans intervention de l'homme. Pour ce qui concerne le projet global Cigéo, la formation argileuse du Callovo-Oxfordien est étudiée depuis 15 ans dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne et a confirmé au moyen de campagnes de reconnaissance géologique, que cette couche possède les propriétés favorables à l'implantation d'un futur stockage.

Il ressort de ce bref résumé qualitatif que les risques d'accidents relatifs au centre de stockage Cigéo sont maîtrisés. Il est considéré que cette maîtrise des risques est valable à la fois pour le scénario OK et pour le scénario KO. En effet, même en cas de dégradation persistante des conditions macroéconomiques pouvant conduire, à long terme, à une baisse des exigences de sûreté, la géologie, assurant le confinement des radionucléides, permettra de protéger l'homme et l'environnement.

6.2 Hypothèses de sûreté des autres options

Rappelons que l'évaluation socioéconomique n'est en aucun cas une analyse technique des différentes solutions prospectives de gestion des déchets radioactifs. Dans le chapitre précédent, nous avons résumé les conclusions des études de sûreté existantes et à disposition à propos du centre de stockage Cigéo.

En l'absence de telles études de sûreté pour des technologies différentes du stockage en couche géologique profonde, l'évaluation socioéconomique fait simplement l'hypothèse qu'en cas de mise en place de la technologie prospective de forage profond, les années de R&D qui la précèderaient (*a minima* jusqu'en 2070, dans les options 2, 3 et 4) permettraient d'aboutir à une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs au moins aussi sûre que le centre de stockage Cigéo. Nous considèrerons donc dans la suite de l'analyse qu'il n'y a donc pas de différentiel de probabilité d'accident entre le centre de stockage Cigéo et les technologies prospectives considérées (forage profond pour les HA et processus de densification et mise en forage profond pour les déchets MA-VL) : l'hypothèse est posée que si une technologie prospective de mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL est mise en place, cette technologie aurait atteint un niveau de sûreté *a minima* égal à celui du centre de stockage Cigéo. Ainsi le différentiel de risque entre les technologies prospectives et le stockage géologique profond serait nul.

Le seul différentiel de risque concernerait donc les branches 4.5 et 4.8 de l'option 4 débouchant sur de l'entreposage de longue durée renouvelé et les branches 4.4 et 4.7 qui nécessitent un entreposage plus long que les autres branches. Dans un scénario KO, on ne peut en effet exclure que la fragilisation des institutions et de la gouvernance mène à un abandon sans surveillance des sites d'entreposage. Dans une telle configuration, ces derniers seraient donc soumis à un risque d'incendie.

La démarche d'évaluation socioéconomique nécessite d'affecter des probabilités aux risques d'accident même s'ils sont très faibles et de quantifier les conséquences radiologiques d'un tel accident. C'est l'objet des chapitres qui suivent.

6.3 Analyse différentielle qualitative des périodes de risque, selon les *scenarii*

Dans le scénario OK, le différentiel de risques entre toutes les options, quelles que soient les branches, sera considéré comme négligeable. En effet, le scénario OK correspond à la situation où les tendances des dernières décennies sont prolongées à très long terme, de sorte que les modalités de gestion des déchets radioactifs font l'objet d'une surveillance active, dans le cadre des politiques de prévention du risque et de gestion de crise. Cette surveillance ne limite pas seulement la probabilité annuelle de survenue d'un accident grave à 10^{-5}. Elle assure aussi que les conséquences d'un accident seraient contenues par des mesures rapides et efficaces de gestion de crise. À titre d'exemple, les facteurs conduisant à l'accident-type évalué ci-dessous (incendie en entreposage) ne sont envisageables qu'au sein d'une société très dégradée, puisqu'un incendie en entreposage ne peut résulter que d'une situation d'abandon, qui n'existe pas en scénario OK. Les coûts d'un accident grave dans la gestion des déchets resteraient ainsi inférieurs au moins d'un ordre de grandeur à ce qu'ils seraient dans une société dépourvue d'une surveillance active. L'espérance de coûts liés à un accident, que l'on obtient en pondérant les dommages par la probabilité, est ainsi inférieure de trois ordres de grandeur (deux pour la probabilité, une pour les conséquences) dans une société OK par rapport à une société KO, de sorte qu'elle devient négligeable au regard des autres montants en jeu dans l'évaluation socioéconomique.

En revanche, ce différentiel de risque est réel et pris en compte dans le scénario KO. L'hypothèse d'une société en ordre de marche (scénario OK) sur un horizon de temps long est en effet interrogée par cette étude.

Le tableau ci-après résume les périodes au cours desquelles de tels accidents pourraient se produire, en fonction de l'option et de la branche.

Tableau 6.3-1 Probabilité d'incendie en entreposage, dans les différentes options en scénario KO

Option	Solution retenue (selon la branche)	Probabilité π d'incendie en entreposage selon la période			
		2019-2155	2155-2203	2203-2208	Au-delà de 2208
Option de projet 1	• Stockage géologique profond	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et stockage géologique fermé)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et stockage géologique fermé)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et stockage géologique fermé)
Option 2	• Stockage géologique profond (2.1.a et 2.2) • Stockage géologique profond (MA-VL) et forage profond (HA) (2.1.b)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)
Option 3	• Stockage géologique profond (3.1.b, 3.2.b et 3.3) • Stockage géologique	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)

Option	Solution retenue (selon la branche)	Probabilité π d'incendie en entreposage selon la période			
		2019-2155	2155-2203	2203-2208	Au-delà de 2208
	profond et forage profond (3.1.c et 3.2.a) • Forage profond (3.1.a)				
Option 4	• Stockage géologique profond (4.1.a, 4.3.a et 4.6) • Stockage géologique profond et forage profond.(4.1.b, 4.1.c, 4.3.b) • Forage profond (4.1.d, 4.2)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)
	• Stockage géologique profond sur nouveau site (MA-VL) et forage profond (HA) (4.4)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	$\pi > 0$ (pour MA-VL)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et solution géologique fermée)
	• Entreposage de longue durée renouvelé (MA-VL) et forage profond (HA) (4.5)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	$\pi > 0$ (pour MA-VL)	$\pi > 0$ (pour MA-VL)	$\pi > 0$ (pour MA-VL)
	• Stockage géologique profond sur nouveau site (4.7)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	π proche de 0 (entrepôts démantelés et stockage géologique fermé)
	• Entreposage de longue durée renouvelé (4.8)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)	$\pi > 0$ (pour HA et MA-VL)

Légende : vert = probabilité proche de zéro ; orange = probabilité positive

On observe dans ce tableau récapitulatif, que le différentiel de risque est nul entre les options 1, 2, et 3 et les premières branches de l'option 4.

En revanche, ce différentiel de risque existe entre l'option de projet 1 et les branches de l'option 4, pour lesquelles l'entreposage des déchets HA ou MA-VL est plus long ; le délai étant induit soit en raison du temps de recherche d'un nouveau site pour du stockage en couche géologique profonde, soit par une recherche de nouveau site infructueuse couplée à une R&D non fructueuse concernant la technologie prospective.

Les différentiels de périodes sujettes à un accident étant définies, il convient désormais de définir le périmètre d'un tel accident et d'en estimer le coût. C'est l'objet des chapitres qui suivent.

Préalablement, nous soulignons tout de même que seuls les coûts évités d'un incendie en entreposage sont mis au bénéfice des options et des branches conduisant à une mise en sécurité définitive. Un autre bénéfice des solutions de mise en sécurité définitive n'a pas été envisagé à ce stade : il s'agit du bénéfice moral de ne pas exposer les générations futures aux risques d'un accident potentiellement catastrophique en cas d'alternance avec un scénario KO. Ce bénéfice moral ou bénéfice assurantiel des solutions de mise en sécurité définitive, qui, en miroir, constitue un coût caché de l'entreposage de longue durée, est discuté dans le chapitre 7.2 du présent document.

6.4 Définition des périmètres d'intervention et de l'accident à considérer

L'objet de ce chapitre est d'identifier les données d'entrées nécessaires à la monétarisation des bénéfices. S'agissant d'un bénéfice évalué en termes de risques évités, il s'agit dans un premier temps de définir les périmètres à considérer en cas de situation accidentelle et dans un second temps de définir l'accident considéré pour les besoins de cette évaluation socioéconomique. Pour cela, un bref rappel des accidents nucléaires permet d'illustrer les périmètres d'intervention observés, avant de croiser avec les périmètres d'accident modélisé pour cette évaluation socioéconomique, pour enfin appliquer ces périmètres aux cas des sites d'entreposage actuels.

L'estimation des conséquences radiologiques d'un accident provient d'extrapolations de l'accident de Fukushima (82) (83) et d'études de l'IRSN (13) (84) (85).

6.4.1 Périmètres extrapolables issus d'un bref rappel des accidents nucléaires

Depuis le début du nucléaire en France, il n'y a eu aucun accident grave en entreposage ayant eu des impacts environnementaux, économiques ou sanitaires hors-site. C'est ce qui explique l'absence de données d'entrées susceptibles d'alimenter l'évaluation socioéconomique en cours.

Les accidents les plus graves intervenus sur le territoire français sont ceux de 1969 et 1980, ayant eu lieu à la centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher). Ces deux accidents sont classés niveau 4 (sur 7) sur l'échelle internationale des évènements nucléaires (INES). Ces accidents, résultats d'une fusion partielle des combustibles au sein d'un des réacteurs, ont eu un impact très limité hors de la centrale.

À l'échelle internationale, les deux accidents les plus graves ayant affecté une installation nucléaire sont les accidents de Tchernobyl (1986) et de Fukushima (2011), classés au niveau 7 de l'échelle INES. L'accident de Three Miles Island (1979) a atteint le niveau 5. Ces trois accidents présentent toutefois d'importantes limites quant à l'extrapolation de leurs conséquences à l'objet de cette étude.

En premier lieu, il convient de noter qu'un accident en centrale comporte, du fait de la nécessité constante de refroidissement du cœur du réacteur et de contrôle de la réaction en chaîne, des caractéristiques de cinétique et de gravité intrinsèquement différentes de celles d'un accident impliquant des colis de déchets radioactifs.

S'agissant, par ailleurs, des conséquences sanitaires, économiques et environnementales de l'accident, celles de la centrale de Tchernobyl font encore l'objet de débats, alors que les effets à long terme, notamment sanitaires, de l'accident de Fukushima ne sont pas encore connus.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des bénéfices et risques évités par les différentes options

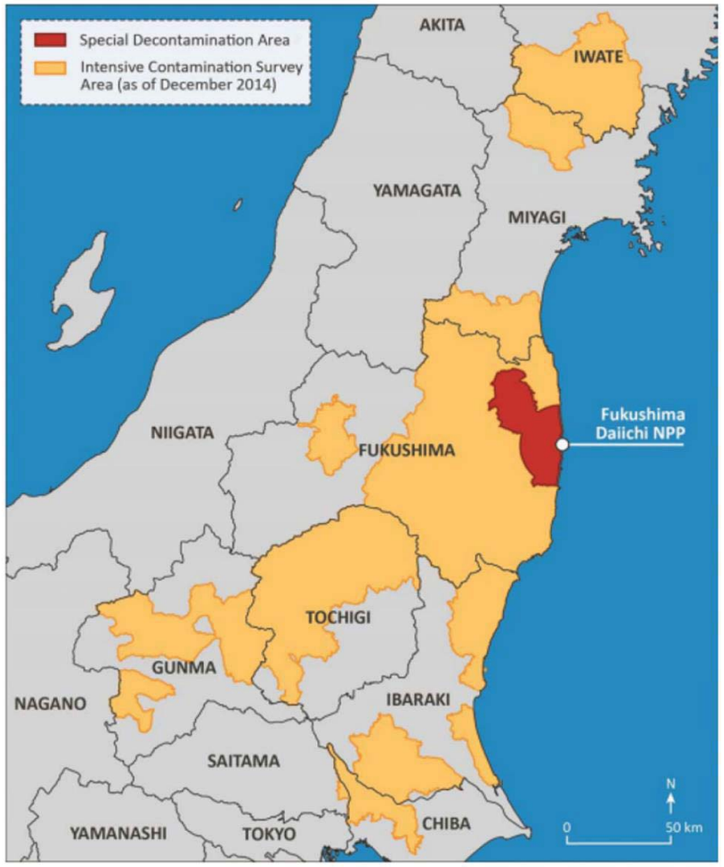
L'accident de Fukushima permet en revanche d'illustrer les dispositifs permettant la protection des populations et la limitation des conséquences environnementales

En effet, la réponse des autorités japonaises face au danger encouru par les populations avoisinantes a été immédiate : évacuation des zones les plus proches avant la première explosion, puis élargissement de la zone d'éloignement et mise à l'abri dès la signalisation des premiers rejets. Un plan de décontamination et de gestion post-accident a été établi par le gouvernement japonais et mis en œuvre dans la préfecture de Fukushima.

Toutefois, et tel que souligné en introduction, le scénario KO sous-tend des institutions et une gouvernance faible, avec une capacité limitée de gestion des conséquences d'un accident. L'extrapolation des conséquences de l'accident de Fukushima vers le cas d'un hypothétique accident en scénario KO présente ainsi un biais. À défaut de données issues d'accidents nucléaires au sein de sociétés comparables au scénario KO, nous mobilisons toutefois les données issues de l'accident de Fukushima, tout en notant le biais induit par cette démarche.

Les modalités de gestion post-accidentelle à Fukushima distingue notamment deux zones (cf. Figure 6.4-1) :

- une zone d'évacuation des populations dite « special decontamination area » (SDA) correspondant à des doses supérieures à 20 mSv par an ;
- une zone nécessitant des actions de décontamination dite « intensive contamination survey area » (ICSA) correspondant à des doses entre 1 et 20 mSv par an.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0059-A

Figure 6.4-1 Zonage d'évacuation et de décontamination, suite à l'accident nucléaire de Fukushima

L'évaluation des dommages de l'accident de Fukushima ne peut être reprise telle quelle dans cette évaluation socioéconomique sans une sélection des éléments pertinents ni un traitement des données avant leur utilisation. Les données issues des études post-Fukushima sont principalement extraites du rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique sur les mesures de remédiation mises en place, publié en 2015 (82). Les « familles de conséquences » de ce rapport sur lesquelles nous nous appuyons pour cette étude sont les suivantes :

- **Les coûts des mesures d'évacuation et de relocalisation des populations** : l'évacuation des populations dans le cas d'un accident nucléaire nécessite du personnel médical et militaire. Par ailleurs, les évacués ne pouvant retourner chez eux une fois la situation stabilisée, peuvent bénéficier d'une aide des autorités en termes de logement, nourriture et autres produits de première nécessité ;
- **Les coûts de la décontamination** : les sols, bâtiments, champs et jardins doivent faire l'objet d'une décontamination afin de réduire les doses et éventuellement permettre aux personnes évacuées de revenir sur leurs lieux de vie précédents.

À partir de ces éléments tirés de la gestion post-accidentelle à Fukushima, de son coût, ainsi que ceux tirés de l'évaluation des conséquences d'un accident majeur en centrale, publiés par l'IRSN (86), nous avons estimés certains coûts unitaires qui seront détaillés dans le chapitre 6.5 du présent document.

Notons que les séquences accidentelles dans un entreposage seraient très différentes de celles – largement modélisées – des centrales nucléaires, les déchets radioactifs étant plus inertes que le combustible au cœur d'un réacteur. Avec l'aide de l'IRSN, des *scenarii* conventionnels d'accident en entreposage ont été mis au point et caractérisés en termes de rayonnement émis, de zones de protection, etc. Le chapitre qui suit à vocation à détailler les hypothèses correspondantes pour chiffrer les conséquences d'un accident fictif de type incendie suite à l'abandon d'un entreposage de déchets de type moyenne activité à vie longue.

6.4.2 Caractérisation de l'accident imaginé dans l'évaluation socioéconomique : incendie suite à l'abandon d'une installation d'entreposage

Pour les besoins de cette évaluation socioéconomique, traitant de la gestion des déchets radioactifs, il a été nécessaire d'extrapoler les conséquences radiologiques issues d'une situation accidentelle fictive.

Pour ce faire, une étude d'accident a été réalisée de manière générique, en concertation avec l'IRSN, en considérant une installation d'entreposage de conception analogue à celles qui existent actuellement.

Pour les besoins de l'estimation des dommages, les périmètres calculés ont quant à eux été projetés sur deux sites réels, à savoir les sites de Marcoule et de La Hague où sont entreposés aujourd'hui d'importantes quantités de déchets radioactifs.

L'hypothèse considérée ici projette l'accident fictif dans la limite conventionnelle d'un volume donné d'environ 5 000 colis de déchets entreposés de type MA-VL.

Le contexte sociétal dans lequel ce type d'accident fictif d'entreposage est imaginé a également été interrogé. Dans une société « en ordre de marche » (correspondant au scénario OK), la présence des institutions actives et les règles de sûreté établies par l'autorité compétente réduisent significativement à la fois les probabilités d'occurrence et les conséquences radiologiques d'un tel accident.

A contrario, une société chaotique (correspondant au scénario KO) aura des dispositifs de gestion de crise défaillants. Dans ce contexte, le scénario d'un abandon des installations d'entreposage de surface est vraisemblable, avec une probabilité d'occurrence accrue des rejets radioactifs dans l'atmosphère ainsi que des radiations émises en proximité.

Pour cette raison, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, des probabilités différentes sont affectées selon les *scenarii*.

Deux cas fictifs, schématisés par l'IRSN, peuvent être imaginés comme résultant de l'abandon d'un entreposage et entrainant des conséquences radiologiques :

1. Un incendie impliquant des colis de déchets MA-VL entreposés, provoquant lors de leur combustion des rejets radioactifs se propageant dans l'atmosphère et contaminant l'environnement au travers du panache de l'incendie ;
2. La mise à nu de colis de verre : un évènement entraîne la perte de toute ou partie des barrières physiques de protection radiologique des colis entreposés ; la protection radiologique n'est plus confinée que par les quelques millimètres d'acier dans lesquels les déchets sont placés ou coulés. Contrairement au scénario précédent, il n'y a pas de contamination de l'environnement par des rejets, le danger provient de la situation de perte de confinement, émettant des radiations en proximité. Bien que ce cas ait permis de montrer qualitativement qu'il pourrait avoir des conséquences sérieuses qu'un stockage géologique est à même d'éviter, il ne permet pas de fournir les données quantitatives nécessaires à l'évaluation de son coût socioéconomique. Il n'a donc pas été retenu dans la suite de l'étude.

Seules les conséquences d'un incendie sont étudiées et modélisées dans le cadre de cette évaluation socioéconomique.

6.4.3 Définition des périmètres d'intervention suite à un accident

Par hypothèse, les conséquences d'un incendie sur un entreposage sont évaluées en considérant un inventaire de 5 000 colis de déchets (MA-VL).

Dans l'hypothèse de survenue d'un accident ayant des conséquences radiologiques, il est tout d'abord nécessaire de considérer les différents périmètres définis selon les doses de radiation réelles auxquelles peuvent être exposées les populations environnantes, afin de déterminer les actions à mettre en place. Selon l'IRSN, les périmètres se distinguent selon la temporalité des actions entre celles associées à la gestion de l'accident et celles post-accidentelles, intervenant dans la durée (cf. Tableau 6.4-1 ci-après) :

- Les périmètres liés aux actions d'urgences, lors de l'accident :
  - ✓ le **périmètre d'évacuation,** conditionne l'évacuation des personnes lors de l'accident sur une zone dans laquelle les populations sont susceptibles de recevoir une dose efficace supérieure à 50 mSv sur la durée du rejet considérée ;
  - ✓ le **périmètre de mise à l'abri des populations**, conditionne le confinement des personnes à l'intérieur des maisons, sur une zone dans laquelle les doses reçues sont supérieures à 10 mSv sur la durée du rejet considérée ;
- Les périmètres liés aux actions post-accidentelles, qui s'inscrivent dans la durée :
  - ✓ Le **périmètre d'éloignement**, qui correspond à la zone qui nécessite que les personnes qui y vivent soient éloignées durant le temps nécessaire à la réduction des niveaux d'activité dans la zone, par décroissance naturelle ou par la réalisation de travaux de décontamination. Dans le cas de l'accident de Fukushima, ce périmètre s'apparente à la zone dite « spécial décontamination area » (SDA).

✓ La **zone de protection des populations,** cette zone, qui englobe le périmètre d'éloignement, correspond à la zone dans laquelle l'exposition des résidents nécessite d'être réduite par des mesures de radioprotection appropriées (par exemple la décontamination de terrains, des restrictions de consommation de produits locaux, des restrictions sur la circulation dans certaines aires plus contaminées, etc.). Dans le cas de l'accident de Fukushima, ce périmètre s'apparente à la zone dite « intensive contamination survey area » (ICSA).

- À noter que la délimitation du périmètre d'éloignement et de la zone de protection des populations sont établis en fonction des doses possiblement cumulées sur un mois ou un an. Des valeurs repères de 10 mSv et 20 mSv par an ont été considérées pour les fixer.

✓ Le **périmètre de surveillance des territoires** est défini selon une contamination significative mais où les mesures de radioprotection ne sont pas considérées comme nécessaires. Par exemple, dans ce périmètre, la commercialisation des produits peut être interdite.

Tableau 6.4-1 Rayon (en km) des périmètres des actions d'urgence et actions post-accidentelles, source IRSN[66]

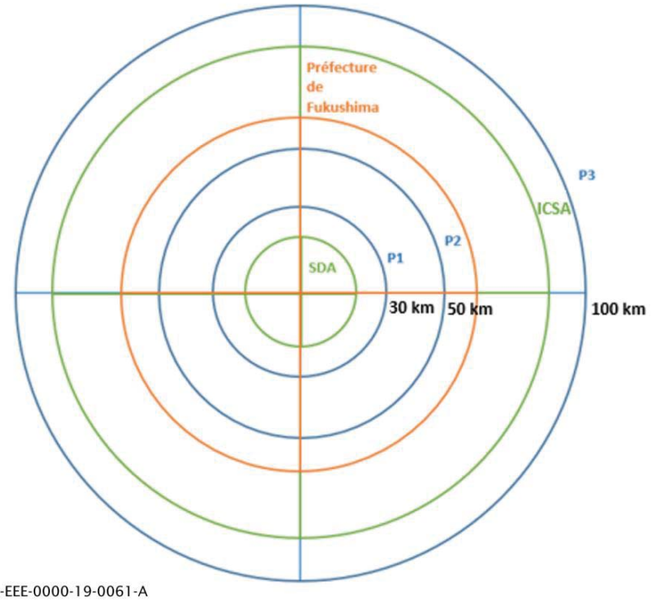
Type de gestion	Périmètre	Rayon (en km)		
		Hypothèse PE et ZPP : 10 mSv sur 1 mois	Hypothèse PE et ZPP : 20 mSv sur 1 an	Hypothèse PE et ZPP : 10 mSv sur 1 an
Action d'urgence	Périmètre d'évacuation	30		
	Périmètre de mise à l'abri	50		
Action post-accidentelle	Périmètre d'éloignement (PE)	6	15	20
	Zone de protection des populations (ZPP)	25	30	40
	Zone de surveillance des territoires (ZST)	> 100		

Pour les besoins de cette évaluation socioéconomique, deux hypothèses majorantes relatives aux périmètres considérés ont été faites pour la monétarisation des dommages dans le cas d'un incendie. Elles ont pour but de simplifier l'analyse à ce stade :

- Dans une analyse radiologique, la modélisation du panache radioactif généré lors d'un incendie se propage selon les vents dominants et les conditions météorologiques de la région étudiée. Or, dans cette évaluation, l'hypothèse simplificatrice est posée de considérer le périmètre du panache comme circulaire à 360°, sans considération de la rose des vents du site considéré ;
- Le nombre des périmètres étudiés a été réduit à trois :
  - ✓ P1, périmètre de moins de 30 km de rayon. Il s'apparente au périmètre d'évacuation concernant toute action d'urgence lors de l'accident et pour toute action post-accidentelle, il s'apparente à la zone de protection des populations et englobe le périmètre d'éloignement de l'IRSN. Au sein cette évaluation socioéconomique, ce périmètre est associé à la zone SDA en ce qui concerne les coûts de décontamination, et la préfecture de Fukushima en ce qui concerne les coûts de production de déchets radioactifs issus de la remédiation (cf. Figure 6.4-2). Il est également utilisé afin de calculer les coûts des réfugiés ainsi que les coûts économiques directs.
  - ✓ P2, périmètre de 30 à 50 km de rayon. Il s'apparente au périmètre de mise à l'abri (action d'urgence lors de l'accident) et à la zone de protection des populations de l'IRSN. Au sein cette évaluation socioéconomique, ce périmètre est associé à la zone ICSA en ce qui concerne les coûts de décontamination, et la préfecture de Fukushima en ce qui concerne les coûts de production de déchets radioactifs issus de la remédiation (cf. Figure 6.4-2).
  - ✓ P3, périmètre de moins de 100 km de rayon. Au sein cette évaluation socioéconomique, ce périmètre est associé à la zone ICSA en ce qui concerne les coûts de décontamination, et la zone hors préfecture de Fukushima en ce qui concerne les coûts de production de déchets radioactifs issus de la remédiation (cf. Figure 6.4-2).

[66] Ces périmètres sont calculés sur la base d'une météorologie type, avec une situation de vent faible classiquement retenue comme hypothèse moyenne pour la dispersion atmosphérique des rejets.

Le graphique ci-dessous représente les différentes zones et périmètres présentés jusqu'ici et qui seront utilisés au chapitre 6.4.4 du présent document :



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0061-A

Figure 6.4-2 *Représentation des aires des zones P1, P2 et P3, de celles de l'IRSN, de celles la préfecture de Fukushima et des zones SDA et ICSA spécifiées d'après l'accident de Fukushima*[67]

[67] Un certain nombre d'hypothèses simplificatrices ont été posées afin de représenter graphiquement, simplement et de manière comparable les différentes aires dans ce graphique. Notamment, la zone ICSA et la préfecture de Fukushima sont représentés ici en cercles parfaits, sur la base d'aire connue qui n'est pas dans la réalité de forme géométrique circulaire.

6.4.4 Application de ces périmètres aux sites d'entreposage actuels

Les sites sur lesquels les conséquences d'un accident ont été étudiées sont les sites de La Hague et de Marcoule, qui concentrent à eux deux plus de 90 % de la radioactivité répertoriée sur le territoire français.



Figure 6.4-3 *Localisation des principaux sites d'entreposage des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue en France*

6.4.4.1 Périmètres concernés sur le site de Marcoule

Berceau historique de l'industrie nucléaire française créé en 1955, Marcoule est le premier site industriel et scientifique du Gard. Le centre CEA de Marcoule emploie 1 500 collaborateurs. Outre les activités de recherche du site (qui portent sur les techniques de préparation de l'uranium, le traitement des combustibles nucléaires usés, les techniques d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires en fin de vie et sur la gestion des déchets les plus radioactifs), le site de Marcoule abrite également un entreposage de près de 5 500 m³ de déchets radioactifs, comprenant quelques déchets HA, des déchets MA-VL, FA-VL et FMA-VC (cf. Tableau 5.1-10).

- Surfaces potentiellement touchées par un incendie d'entrepôt à Marcoule, avec panache de rejets radioactifs

Dans le cas de l'accident radiologique imaginé, consécutif à un incendie d'entrepôt, les surfaces potentiellement touchées sont indiquées dans le tableau ci-après.

Ces surfaces indiquées sont les surfaces occupées par les terres et non par la mer. En effet, les conséquences radiologiques des rejets sur la mer ne sont ni mesurées ni chiffrées dans cette évaluation socioéconomique. En considérant une dispersion à 360° depuis le site de Marcoule, la surface de mer potentiellement touchée est d'environ 1 450 km².

Tableau 6.4-2 Récapitulatif des surfaces pour lesquelles des conséquences radiologiques sont chiffrées, autour du site de Marcoule, en cas d'incendie de l'entrepôt

Périmètre	Surface de l'anneau ou du disque occupé par la terre
P1, périmètre de moins de 30 km de rayon	2 827 km²
P2, périmètre de 30 à 50 km	5 027 km²
P3, périmètre de 50 km à 100 km	22 112 km²
Total	**29 966 km²**

- Population potentiellement touchée par les conséquences d'un incendie d'entrepôt, avec panache de rejets radioactifs

  Le tableau ci-dessous résume le nombre d'habitants concernés par ces 3 périmètres, en cas d'incendie provoquant des rejets radioactifs se propageant dans l'atmosphère et contaminant l'environnement au travers du panache de l'incendie.

Tableau 6.4-3 Population concernée par les périmètres P1, P2 et P3 autour du site de Marcoule

Périmètre	Population concernée
P1, périmètre de moins de 30 km de rayon	709 469
P2, périmètre de 30 à 50 km	1 014 411
P3, périmètre de 50 km à 100 km	3 041 189
Total	**4 765 069**

6.4.4.2 Périmètres concernés sur le site de La Hague

Le site Orano de la Hague est situé dans le département de la Manche. Il comporte près de 4 000 collaborateurs. L'usine de retraitement propose des prestations de recyclage des matières radioactives en vue de leur utilisation future dans de nouveaux combustibles. Les installations disposent de quatre bassins, construits entre 1976 et 1985, servant au refroidissement des combustibles usés en attente des opérations de retraitement. Le site de La Hague abrite également un entreposage de près de 3 000 m³ (avant extension 2017) de déchets HA, et près de 29 200 m³ de déchets MA-VL (cf. Tableau 5.1-10).

- Surfaces potentiellement touchées par un incendie d'entrepôt à La Hague, avec panache de rejets radioactifs

  Le tableau 6.4-4 ci-dessous estime ces surfaces.

  Comme pour le site de Marcoule, les surfaces indiquées sont celles occupées par la terre. En considérant une dispersion à 360°, la surface de la mer potentiellement touchée est très importante (environ 25 700 km²), du fait de la situation littorale du site.

Tableau 6.4-4 Récapitulatif des surfaces pour lesquelles des conséquences radiologiques sont chiffrées, autour du site de La Hague, en cas d'incendie de l'entrepôt

Périmètre	Surface de l'anneau ou du disque occupé par la terre
P1, périmètre de moins de 30 km de rayon	835 km²
P2, périmètre de 30 à 50 km	1 434 km²
P3, périmètre de 50 km à 100 km	3 455 km²
Total	**5 724 km²**

- Population potentiellement touchée par les conséquences d'un incendie d'entrepôt à La Hague, avec panache de rejets radioactifs

  Le tableau 6.4-5 ci-dessous résume le nombre d'habitants concernés par ces 3 périmètres, en cas d'incendie provoquant des rejets radioactifs se propageant dans l'atmosphère et contaminant l'environnement au travers du panache de l'incendie à La Hague.

Tableau 6.4-5 Population concernée par les périmètres P1, P2 et P3 autour du site de la Hague

Périmètre	Population concernée
P1, périmètre de moins de 30 km de rayon	184 380
P2, périmètre de 30 à 50 km	76 453
P3, périmètre de 50 km à 100 km	340 029
Total	**600 862**

6.5 Coûts unitaires de l'incendie sur un site d'entreposage imaginé

L'exercice d'évaluation des dommages consiste à décrire et quantifier les coûts résultant de l'accident qualifié. La monétarisation s'effectue sur la base des coûts unitaires suivants, qui seront décrits dans la suite du chapitre :

- le coût des réfugiés est lié à l'évacuation des personnes à la suite de l'accident et de leur relogement provisoire ;
- le coût de la remédiation comprend le coût de la décontamination des sols et le coût de la prise en charge des déchets radioactifs générés par les mesures de décontamination ;
- le coût économique direct traduit l'arrêt de l'activité économique sur les territoires sinistrés et donc soustraits à la production par les accidents nucléaires, du fait notamment des mesures d'évacuation et de mise à l'abri ;
- le coût d'image représente la dégradation de l'image de la région dans laquelle l'accident a lieu : impact sur l'image agricole (réduction des volumes d'exportation), sur le tourisme (baisse de fréquentation touristique) et l'industrie (industrie en général et filière électronucléaire en particulier).

Par ailleurs, le coût sanitaire, non évalué dans cette évaluation socioéconomique, entraîne des pertes de vies humaines liées à l'accident et le traitement médical des maladies déclenchées par l'exposition des personnes aux rayonnements et par le stress de l'accident.

6.5.1 Coût des réfugiés

- **Coût brut**

  Les réfugiés représentent les personnes évacuées à la suite de l'accident d'entreposage, ces personnes doivent être relogées et bénéficier de produits de première nécessité. Ce coût, en valeur 2019, est estimé à un montant de 100 000 € par personne (86), et correspond à « *l'accueil d'urgence pendant quelques mois au plus, le relogement provisoire en structures de type préfabriqué et enfin le relogement définitif au bout de deux à cinq ans* ».

  Par hypothèse dans cette évaluation socioéconomique, il est considéré que ce coût n'intervient que la première année. L'assiette considérée correspond à la population du périmètre 1 (zone d'évacuation, rayon de 30 km).

  Tout comme pour l'évaluation des coûts de différentes options, il convient de s'interroger à la fois sur la plage de valeurs que ce coût peut adopter, ainsi que sur son évolution dans le temps.

- **Évolution des coûts relatifs** (cf. chapitre 3.2.3 du présent document)

  Concernant l'évolution dans le temps, nous supposons que le coût des réfugiés est assimilable à un flux de type génie civil, dont l'élasticité au PIB est détaillée au chapitre 3.2.3.2 du présent document.

6.5.2 Remédiation : les coûts de décontamination

- **Coût brut**

  Le coût de la remédiation comprend la décontamination des sols et la prise en charge des déchets radioactifs générés par les mesures de décontamination.

  Comme le suggère le retour d'expérience de Fukushima, dont les données sont disponibles dans le rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique (82) et du ministère de l'environnement japonais, il est considéré que les périmètres les plus proches de l'accident nécessitent d'engager des dépenses de décontamination. Par ailleurs, sur ces périmètres, on observe selon la nature des

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des bénéfices et risques évités par les différentes options

éléments contaminés une production de déchets exprimée en tonnes et mètres cubes au km² plus élevée que sur les périmètres les plus éloignés.

Les moyens mis en œuvre pour décontaminer les sols, les cours d'eau et les bâtiments ne sont pas les mêmes selon les doses constatées. Ils sont plus coûteux sur des zones présentant de fortes doses de radiations.

Pour le périmètre P1, plus proche du lieu de l'accident, les coûts de décontamination correspondent aux coûts recensés dans la « zone de décontamination spéciale » (SDA) autour de Fukushima. Quant aux périmètres P2 et P3, nous avons considéré que le coût au km² serait similaire à celui des autres zones contaminées par les rejets radioactifs de Fukushima (zone ICSDA). La Figure 6-3 ci-dessus représente graphiquement les aires des différentes zones définies.

Les surfaces occupées par la mer ne sont pas prises en compte, considérant par hypothèse qu'il n'y a pas de décontamination effectuée sur le milieu marin. Cette remarque concerne particulièrement le site de La Hague.

Les coûts de décontamination des sols sont déterminés en s'appuyant en premier lieu sur le rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique (82), qui fournit, pour les exercices fiscaux compris entre 2011 et 2015, les budgets alloués et non-utilisés pour la gestion de la décontamination, hors gestion des déchets.

Toutefois, ce rapport ayant été publié avant la fin des actions de remédiation, les coûts de décontamination des sols y sont fortement sous-estimés. Le ministère de l'environnement japonais propose une mise à jour des coûts de décontamination en 2018 (83). Ceux-ci atteindraient environ 1,5 trillions de yen pour la zone SDA (spécial décontamination area), et 1,4 trillion de yens pour la zone ICSA (intensive contamination survey area) pour la période 2011-2017.

En divisant simplement le budget alloué par les surfaces des zones SDA (1 166 km²) et ICSA (24 000 km²), on obtient ainsi :

- ✓ un coût de décontamination de 10,3 millions d'euros par km² pour la zone SDA ;
- ✓ un coût de décontamination de 467 mille euros par km² pour la zone ICSA. Si ces coûts sont plus récents, et que le rapport du ministère de l'environnement indique un quasi achèvement de la décontamination de la zone ICSA, l'avancement de la décontamination de la zone SDA n'est pas précisée. À défaut de plus d'informations, nous mobilisons les coûts par km² estimés à partir des données les plus récentes, tout en sachant qu'il s'agit encore probablement d'une sous-estimation.

- **Évolution des coûts relatifs** (cf. chapitre 3.2.3 du présent document)

  Ce poste des coûts de décontamination est assimilé à des flux de type génie civil.

6.5.3 Les coûts de prise en charge des déchets radioactifs générés par les mesures de décontamination

Outre les coûts directs de décontamination, les actions de décontaminations décrites dans le rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique (82) et mises en place à Fukushima, génèrent de nouveaux déchets radioactifs (gravats, terres, poussières, végétaux, etc.) qui doivent être stockés et traités, engendrant des coûts supplémentaires, inclus dans les actions de remédiation.

6.5.3.1 Typologie des déchets produits au sein de la préfecture de Fukushima

À Fukushima, les déchets produits par l'accident et les actions de remédiation suite à l'accident sont divisés en plusieurs catégories :

- les déchets issus de la « zone de contremesure » et les « déchets désignés » constituent la catégorie des « **déchets spécifiés** » (85) :
  - ✓ les déchets **issus de la « zone de contremesure »** (ex-zone restreinte et zone d'évacuation délibérée) : correspondent aux déchets du tsunami, des débris des maisons touchées par le tsunami et des déchets de nettoyage des résidences suivant l'évacuation de long terme. Cette zone correspond à la SDA (spécial décontamination area);
  - ✓ les « **déchets désignés** » : déchets contaminés au-delà du seuil de 8 000 Bq/kg, tels que les boues d'épuration et les cendres d'incinération. Il s'agit là de déchets collectés dans la zone ICSA (intensive contamination survey area) ;
- les déchets autres que les déchets spécifiés, c'est-à-dire soit ceux qui n'ont pas pour origine la « zone de contremesure », soit ceux dont la contamination est en-dessous du seuil de 8 000 Bq/kg ;
- enfin, il existe des déchets et terres issus de la décontamination : le sol, l'herbe, les feuilles, les branches, les sédiments de surface, etc.

6.5.3.2 Quantité de déchets produits au sein de la préfecture de Fukushima

Le rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique (82) estime qu'environ 130 000 tonnes de « déchets désignés » (issus donc de la zone ICSA) seront *in fine* produits.

De plus, 800 000 tonnes de déchets seraient produites au sein de la zone SDA. Ces déchets étant toutefois en grande partie attribuables à la catastrophe naturelle du tsunami, et donc non extrapolables à un scénario d'accident de type incendie dans un entrepôt tel qu'il est modélisé dans cette évaluation socioéconomique, nous ne tenons pas compte de cette production de déchets au sein de la zone SDA.

La quantité de déchets et de terre issue des activités de décontamination sur la zone s'élèverait de 16 à 22 millions de mètres cubes sur les zones SDA et ICSA. Le ministère de l'environnement japonais estime la répartition suivante de la radioactivité des déchets issus des activités de décontamination (83) :

- 45,75 % de terres contaminées en dessous du seuil de 8 000 Bq/kg ;
- 47,07 % de terres contaminées entre 8 000 et 100 000 Bq/kg ;
- 0,04 % de terres contaminées au-delà de 100 000 Bq/kg ;
- 7,05 % de cendres d'incinération provenant de la décontamination ;
- 0,09 % de déchets contaminés au-delà de 100 000 Bq/kg au sein de la zone de contremesure.

Le rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique (82) ne donnant aucun détail de coût concernant la gestion des déchets, l'estimation a consisté à transposer dans la classification française des déchets radioactifs les volumes de déchets produits par l'accident, en fonction des fourchettes de niveau de radioactivité (Bq/kg). Puis, le coût de gestion des déchets TFA issus du document « PNGMDR 2013-2015 – Schéma industriel pour la gestion des déchets TFA » de l'Andra (87) est appliqué pour estimer le coût de gestion des déchets produits par un incendie fictif d'entrepôt.

La classification des déchets radioactifs en France en fonction de leur activité massique est la suivante (88) :

Tableau 6.5-1 La classification des déchets radioactifs en France sur le critère d'activité massique

Catégorie	Niveau de radioactivité
Très faible activité (TFA)	Inférieure à 10 000 Bq/kg
Faible activité (FA)	Compris 10 000 et 1 milliard de Bq/kg
Moyenne activité (MA)	Compris entre 1 milliard et 1 000 milliards Bq/kg
Haute activité (HA)	Supérieur à 1 000 milliards Bq/kg

En suivant cette classification de déchets, les hypothèses conservatrices ci-dessous sont posées :

- Les déchets dont la radioactivité est simplement présentée comme « supérieure à 100 000 Bq/kg » par le ministère de l'environnement japonais sont des déchets de faible activité ;
- La quantité totale de déchets produits correspond à la borne basse des estimations du ministère de l'environnement japonais, c'est-à-dire 16 millions de mètres cubes, nous obtenons la répartition suivante des déchets selon la classification française. Les hypothèses de production par kilomètre carré ont été estimés en mobilisant la surface ICSA au sein de la préfecture de Fukushima (12 617 km²) et SDA (1 166 km²), égal à la superficie de la préfecture (13 683 km²).

On obtient les volumes de déchets radioactifs suivants, générés sur le périmètre de la préfecture de Fukushima :

Tableau 6.5-2 Volumes de déchets produits par l'accident de Fukushima, sur le périmètre SDA et ICSA inclus dans la préfecture de Fukushima, selon leur niveau de radioactivité exprimé en classification française

Type de déchets		En m³	En m³ par km²
Déchets de très faible activité	**Terre (< 8 000 Bq/kg)**	7 319 691	730
Déchets de faible activité	**Terre (entre 8 000 et 100 000 Bq/kg)**	7 530 696	751
	Terre (> 100 000 Bq/kg)	7 276	0,73
	Cendres d'incinération	1 127 785	112
	Déchets (> 100 000 Bq/kg)	14 552	1,5
	Déchets désignés (zone ICSA uniquement)	515 637	40,87
Volume total des déchets de faible activité		**9 195 946**	**906**

6.5.3.3 Quantité et typologie des déchets produits à l'extérieur de la préfecture de Fukushima

Outre les 16 millions à 22 millions de mètres cubes de déchets produits au sein de la zone SDA et ICSA, le rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique (82) mentionne également que 28 000 tonnes de déchets désignés et 1,4 millions à 13 millions de mètres cubes de déchets issus des actions de décontamination seront générés hors de la préfecture de Fukushima.

Les déchets désignés étant contaminés au-delà du seuil de 8 000 Bq/kg, nous posons l'hypothèse que ceux-ci seraient classifiés comme des déchets de faible activité.

Concernant les déchets issus des actions de décontamination, nous posons les hypothèses conservatrices suivantes, une classification des déchets en fonction de leur radioactivité n'ayant pu être localisé :

- l'ensemble des déchets seraient classifiés en déchets de très faible activité, au vu de l'éloignement du lieu de l'accident ;
- comme pour les déchets provenant de la préfecture de Fukushima, nous mobilisons l'hypothèse de production de déchets la plus conservatrice, équivalente à la borne basse de 1,4 millions de mètres cubes.

En extrapolant ces quantités de déchets au cas d'un incendie fictif, la répartition des déchets selon la classification française serait dès lors celle rapportée dans le tableau 6.5-3 ci-dessous.

Pour la superficie concernée, nous nous basons sur une surface de 11 383 km², correspondant à la surface estimée de la zone ICSA hors de la préfecture de Fukushima.

Tableau 6.5-3 Volumes de déchets produits par l'accident de Fukushima, sur le périmètre à l'extérieur de la préfecture de Fukushima, selon leur niveau de radioactivité exprimé en classification française

Type de déchets		En m³	En m³ par km²
Déchets de très faible activité	**Déchets issus des actions de décontamination**	1,4 millions	122,9
Déchets de faible activité	**Déchets désignés**	91 960	8,08

6.5.3.4 Extrapolation des quantités au cas des périmètres étudiés en France

Maintenant que les quantités de déchets produites, dans la préfecture de Fukushima et à l'extérieur, sont converties en unités correspondantes aux catégories de déchets françaises, il convient d'extrapoler les quantités produites à Fukushima aux quantités qui seraient produites en France si un incendie survenait, en fonction des périmètres qui ont été estimés au chapitre 6.4.3 du présent document.

Nous supposons que (cf. Figure 6-3):

- la quantité de déchets par km² produite au sein des zones P 1 et P 2 serait similaire à la quantité de déchets produite par km² au sein de la préfecture de Fukushima ;
- la quantité de déchets par km² produite au sein de la zone P 3 serait similaire à la quantité de déchets par km² produite à l'extérieur de la préfecture de Fukushima.

6.5.3.5 Coût de gestion des déchets radioactifs

- **Coût brut de gestion des déchets radioactifs de très faible activité (TFA)**

  Le rapport de l'Agence internationale de l'énergie atomique (82) ne donnant aucun détail de coût concernant la gestion des déchets, nous nous appuyons sur le coût de gestion des déchets TFA issus du document « PNGMDR 2013-2015 – Schéma industriel pour la gestion des déchets TFA » de l'Andra (87). Celui-ci décrit les coûts de fonctionnement du centre de stockage actuel des déchets TFA, le Cires. Ce centre, dimensionné pour accueillir 650 000 m³ de déchets TFA sur 30 ans, a représenté un coût d'investissement d'environ 40 millions d'euros 2002. Les coûts de fonctionnement s'élèvent à environ 10 millions d'euros par an, en fonction des volumes traités. En outre, le document indique un coût moyen de stockage de 500 € par m³, incluant l'amortissement des investissements.

- **Coût brut de gestion des déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)**

  Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte sont stockés en surface dans les centres de l'Aube (en cours de fonctionnement) et de la Manche (en phase de fermeture).

  Les données de coûts disponibles pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte concernent le coût complet (comprenant l'investissement initial et les coûts annuels de fonctionnement) du stockage des déchets FMA-VC. Ce coût s'élève à environ 5 000 € par m³ (incluant donc également le coût de déchets de moyenne activité).

- **Évolution des coûts relatifs** (cf. chapitre 3.2.3 du présent document)

  Les postes de coûts de gestion des déchets radioactifs (TFA et FMA-VC) sont assimilés à des flux de type génie civil.

6.5.4 Coût d'image, coût économique direct et de ressenti

- **Coût brut**

  Les mesures d'évacuation et de mise à l'abri impliquent un arrêt de l'activité économique sur les territoires sinistrés par les accidents nucléaires. De plus, un accident nucléaire peut entrainer une dégradation de l'image de la région dans laquelle l'installation est implantée, notamment en termes de retrait de la consommation de produits agricoles et de séjours à risque. Ainsi, les exportations de la région de Fukushima et le tourisme ont fortement diminué dans les années qui ont suivi l'accident nucléaire.

  Il est toutefois complexe d'estimer précisément les coûts économiques après un accident sur un entrepôt. L'IRSN considère trois types de coûts économiques :

  - ✓ l'impact sur le tourisme : environ 25 milliards d'euros en cas d'accident grave, et 75 milliards d'euros en cas d'incident majeur ;
  - ✓ l'effet d'image qui comporte plusieurs composantes :
    - l'effet d'image industrielle, concernant à la fois l'industrie en général et l'industrie électronucléaire en particulier, chiffré entre 12 milliards d'euros pour l'accident grave et 46 milliards d'euros pour l'accident majeur ;
    - l'effet d'image agricole, concernant la réduction de la demande pour les produits agricoles français, même non-contaminés, est compris entre 13 et 60 milliards d'euros ;
  - ✓ les coûts unitaires des zones d'exclusion, concernant à la fois la valeur de la production perdue et le ressenti des habitants dont le territoire devient une zone d'exclusion, estimés à 10 millions d'euros par kilomètre carré. Les zones d'exclusions représentent ici « *les territoires fortement contaminés que les populations doivent quitter pour de nombreuses années. En se référant au cas de l'accident de Tchernobyl, elles correspondent à des dépôts en ^{137}Cs supérieurs à 555 kBq/m². Après l'accident de Fukushima, les autorités japonaises ont basé leurs décisions sur des critères de dose qui correspondent à des niveaux d'activité très voisins.* »

Hypothèse retenue pour la monétarisation du coût d'image : si nous prenons la borne basse du coût de l'impact sur le tourisme, sur l'image industrielle et sur l'image agricole, nous pouvons déjà appliquer à chaque accident un coût forfaitaire de 50 milliards d'euros, que nous appliquons l'année de l'accident.

Hypothèse retenue pour la monétarisation du coût économique direct et de ressenti des populations : le coût économique direct (perte de production) et de ressenti des populations (dont le territoire devient une zone d'exclusion) est évalué à 10 millions d'euros par kilomètre carré de zone d'exclusion, que nous supposons égal à l'aire délimitée par le périmètre P1, et survenant, pour faciliter la modélisation, l'année de l'accident (une répartition sur 10 ans ou 15 ans ne devant *a priori* pas présenter d'impact majeur sur le résultat).

- **Évolution des coûts relatifs** (cf. Chapitre 3.2.3 du présent document)

  Les élasticités au PIB utilisées ici correspondent à celles des flux de type recherche et maintien des compétences.

6.5.5 Coût sanitaire

L'exposition de l'homme à la radioactivité, par voie externe ou interne (inhalation ou ingestion), peut conduire au développement de pathologies (cancer, maladies respiratoires, etc.) se traduisant par une perte d'espérance de vie des individus exposés en fonction du niveau d'exposition. L'accident sur une installation d'entreposage décrit ici causerait de nombreuses pertes de vie et de nombreux cas de pathologies graves liées à l'exposition; l'ampleur de ces dommages sanitaires varierait en fonction d'un ensemble de paramètres, notamment la localisation des zones urbaines les plus proches du site et les conditions météorologiques au moment des rejets. Les victimes de l'accident nucléaire, en plus d'une exposition aux rayonnements ionisants, seraient soumises à une situation stressante induisant de nombreuses inquiétudes sur le présent et l'avenir. Citons par exemple les questions de la fertilité ou les potentielles conséquences sur la santé des fœtus et nouveau-nés qui peuvent surgir au sein de la population vivant dans la région impactée par un accident sur une installation d'entreposage de déchets radioactifs.

En l'absence de données robustes et de références spécifiques à ce type d'installation, nous choisissons de ne pas estimer, ni *a fortiori* de monétariser les conséquences sanitaires d'un accident sur une installation d'entreposage.

Des estimations concernant le coût sanitaire d'un accident en centrale existent : rapport de l'OMS (89) et de l'IRSN (86). Par ailleurs, l'IRSN dans son rapport portant sur la méthodologie de calcul du coût de l'accident (84) indique les cinq composantes principales[68] et les lignes de coûts détaillées relevant d'un accident en centrale. Les effets sanitaires au sens cancers radio-induits figurent dans la composante des coûts radiologiques hors-site (suite à l'exposition au panache et à l'ingestion de produits contaminés).

Dans le cas d'un accident majeur, le coût sanitaire est estimé à 10 milliards d'euros pour un coût total de l'accident de 450 milliards d'euros, soit 2,2 % du coût de l'accident. Dans le cas d'un accident grave, le coût sanitaire est négligeable.

L'extrapolation de ces données est toutefois délicate dans la mesure où les rejets de radionucléides issus d'un accident en centrale et d'un accident sur une installation d'entreposage diffèrent. L'estimation complète de l'impact sanitaire, hors possibilité de s'appuyer sur des expériences passées, est hors du périmètre de cette évaluation. Ainsi, afin de ne pas commettre de biais, nous préférons nous limiter à cette description qualitative de l'impact sanitaire, tout en notant qu'en termes d'impacts humains, l'accident décrit constituerait incontestablement une catastrophe (cf. à ce sujet le chapitre 7.2 du présent document).

[68] Les composantes du coût indiquées par l'IRSN sont : coûts sur site, coûts des territoires contaminés, coûts radiologiques hors site, coûts d'image et effets sur le parc de production d'électricité

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Quantification des bénéfices et risques évités par les différentes options

6.5.6 Récapitulatif des coûts unitaires de l'incendie imaginé sur un site d'entreposage

Tableau 6.5-4 Synthèse des données de coûts utilisées dans l'estimation des dommages

Type de coût unitaire	Description	Hypothèse de coût retenu
Coût des réfugiés	Coût lié aux mesures d'évacuation et de relocalisation des populations habitants dans les zones impactées	100 000 euros par réfugié
Coût de remédiation	Coût lié à la décontamination de l'environnement exposé aux rejets radioactifs	10,3 millions d'euros par km² pour la zone P1 467 mille euros par km² pour les zones P2 et P3
Coût de gestion des déchets	Coût lié à la gestion des déchets radioactifs générés	500 euros par m³ pour les déchets TFA 5 000 euros par m³ pour les déchets FMA
Coût d'image, coût économique direct et de ressenti	Coût d'image, coût lié à l'arrêt de l'activité économique sur les territoires concernés par les accidents nucléaires, et de ressenti de la population	50 milliards d'euros pour le coûts d'image 10 millions d'euros par km² pour le coût économique direct et de ressenti des populations
Coût sanitaire	Coût intégrant les décès dus à l'accident, les coûts directs des soins (dépenses de la sécurité sociale) et l'impact sur la perte de qualité de vie (stress post traumatique ou maladies déclenchées par l'accident)	Non estimé

6.5.7 Coût brut appliqué au cas de Marcoule

Tableau 6.5-5 Coût estimé d'un accident fictif sur le site d'entreposage de Marcoule

Typologie de coût	P1 Périmètre d'évacuation (< 30 km)	P2 Périmètre de mise à l'abri des populations (de 30 à 50 km)	P3 Périmètre de gestion post-accidentelle (de 50 à 100 km)	Total
Coût des réfugiés	70 947 M€	-	-	70 947 M€
Coût de la remédiation	29 099 M€	2 345 M€	10 319 M€	41 763 M€
Coût de gestion des déchets	44 053 M€			44 053 M€
Coûts d'image	50 000 M€			50 000 M€
Coût économique direct et de ressenti des populations	28 274 M€	-	-	28 274 M€
Coût brut total				**235 037 M€**

6.5.8 Coût brut appliqué au cas de La Hague

Tableau 6.5-6 Coût estimé d'un accident fictif sur le site d'entreposage de la Hague

Typologie de coût	P1 Périmètre d'évacuation (< 30 km)	P2 Périmètre de mise à l'abri des populations (de 30 à 50 km)	P3 Périmètre de gestion post-accidentelle (de 50 à 100 km)	Total
Coût des réfugiés	18 438 M€	-	-	18 438 M€
Coût de la remédiation	8 598 M€	669 M€	1 612 M€	10 879 M€
Coût de gestion des déchets	12 408 M€			12 408 M€
Coûts d'image	50 000 M€			50 000 M€
Coût économique direct et de ressenti des populations	8 354 M€	-	-	8 354 M€
Coût brut total				100 079 M€

6.5.9 Aléa entourant les coûts unitaires de l'accident

Faute de disponibilité de données, nous nous sommes appuyés, pour estimer les coûts unitaires de l'accident imaginé, sur un retour d'expérience concernant un accident au sein d'une centrale nucléaire, ainsi que sur des modélisations économiques de l'IRSN. Le sens du biais pour une extrapolation vers les conséquences d'un accident au sein d'un entrepôt n'est pas établi, et pourrait ainsi être aussi bien positif que négatif. Par ailleurs, de nombreux coûts liés aux conséquences d'un accident au sein d'un entrepôt nucléaire, et notamment ceux liés aux impacts sur la santé (morbidité et mortalité), n'ont pas été pris en compte dans ce calcul.

Ainsi, la plage d'incertitude entourant les coûts de l'accident imaginé est supposée large, comprise entre [0,8 ; 1,5]. Cette plage est par ailleurs cohérente avec la plage utilisée pour l'ensemble des coûts. Des simulations de type Monte-Carlo sont donc appliquées, avec 10 000 tirages aléatoires.

6.6 *Scenarii*, probabilités et conséquences d'un incendie en entreposage

6.6.1 Intégration du risque d'accident dans le scénario KO

Le scénario KO correspond à une dégradation économique et/ou sociale qui finit par entraîner une régression institutionnelle. Dans cette hypothétique société chaotique, on ne peut exclure que les normes de sûreté et de sécurité se dégradent. On peut facilement imaginer que cette dégradation puisse être « interne » (réduction des normes de sûreté des installations nucléaires) et/ou « externe » (attaque ou guerre sur le territoire national).

Il n'existe pas de références sur lesquelles s'appuyer pour estimer la probabilité d'un accident dans cet état du monde ; l'hypothèse selon laquelle celle-ci serait significativement supérieure aux normes actuelles de sûreté de 10^{-6} paraît toutefois peu contestable. Nous estimons ainsi le risque d'un accident au sein de ce scénario avec une probabilité comprise entre 10^{-3} et 10^{-4}. Ces probabilités correspondent aux bornes basse et haute du risque d'accident avec rejets massifs pour les réacteurs de première génération, conçus dans les années 1950. Leur utilisation traduit dans le cadre de cette évaluation un recul des standards et du niveau de sûreté des installations.

6.6.1.1 Coût d'un accident induit par une durée d'entreposage supplémentaire de 50 ans (branches 4.4 et 4.7)

Dans les branches 4.4 et 4.7 de l'option 4, le centre de stockage Cigéo est fermé en 2203 et 2208, alors qu'il est fermé en 2155 en option de projet 1 ; on note donc une période différentielle d'une cinquantaine d'années durant laquelle les déchets radioactifs MA-VL restent entreposés et ne bénéficient pas de la protection d'une installation de stockage de sûreté passive.

En comptabilisant un risque d'accident annuel compris entre 10^{-3} et 10^{-4} sur chacun des entrepôts étudiés (Marcoule et La Hague), le coût actualisé de risque d'accident est décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6.6-1 Coût actualisé d'un incendie en entreposage

Coût actualisé d'un incendie en entreposage	Taux d'actualisation haut	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation bas
Période de risque : 2155-2203 (appliqué à la branche 4.4)	459 M€	1 911 M€	5 402 M€
Période de risque : 2155-2208 (appliqué à la branche 4.7)	489 M€	2 068 M€	5 923 M€

Tableau 6.6-2 Coût actualisé de la branche 4.4, avec et sans accident

Coût actualisé de la branche 4 .4	Taux d'actualisation haut	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation bas
Coût sans prise en compte d'un accident fictif	14 800 M€	25 586 M€	41 116 M€
Coût avec prise en compte d'un accident fictif	15 259 M€	27 497 M€	46 517 M€

Tableau 6.6-3 Coût actualisé de la branche 4.7, avec et sans accident

Coût actualisé de la branche 4 .7	Taux d'actualisation haut	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation bas
Branche 4.7 sans prise en compte d'un accident fictif	12 752 M€	21 698 M€	36 189 M€
Branche 4.7 avec prise en compte d'un accident fictif	13 241 M€	23 765 M€	42 112 M€

6.6.1.2 Coût d'un accident induit par un entreposage de longue durée renouvelé des déchets HA et/ou MA-VL (branches 4.5 et 4.8)

Dans la branche 4.5, les déchets MA-VL restent gérés par un entreposage de longue durée renouvelé qui s'apparente à une notion d'entreposage « éternel ». Dans la branche 4.8, cet entreposage de longue durée renouvelé concerne les déchets HA et MA-VL.

Ainsi, nous introduisons dans ces branches 4.5 et 4.8 un risque d'accident (versus l'option de projet 1), à partir de 2155, à savoir à partir de la date de fermeture de Cigéo en option de projet 1.

En incorporant un risque d'accident annuel compris entre 10^{-3} et 10^{-4} sur chacun des entrepôts étudiés (Marcoule et La Hague), le coût actualisé de risque d'accident s'élève à :

- **896 millions d'euros** pour un taux d'actualisation haut ;
- **5 914 millions d'euros** pour un taux d'actualisation intermédiaire ;
- **34 474 millions d'euros** pour un taux d'actualisation bas.

Tableau 6.6-4 Coût actualisé de la branche 4.5, avec et sans accident

Coût actualisé de la branche 4 .5	Taux d'actualisation haut	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation bas
Coût sans prise en compte d'un accident fictif	14 197 M€	24 287 M€	45 158 M€
Coût avec prise en compte d'un accident fictif	15 093 M€	30 202 M€	79 632 M€

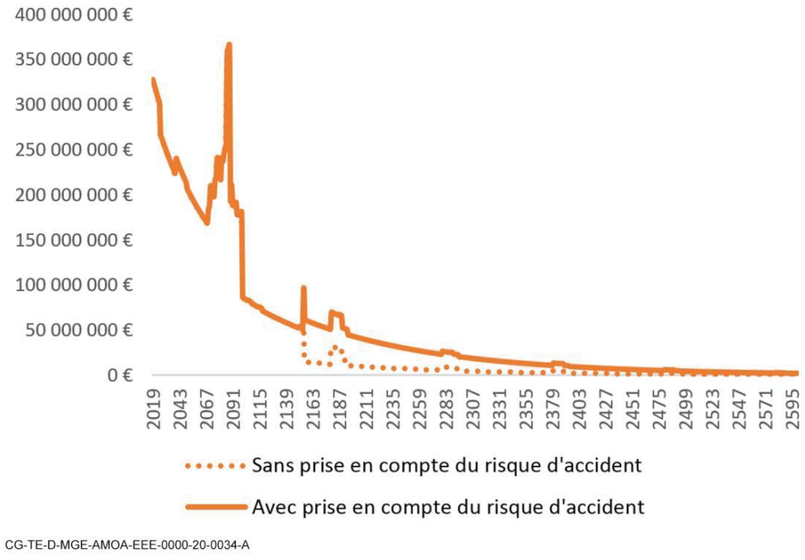


Figure 6.6-1 Coût actualisé de la branche 4.5, avec et sans prise en compte du risque d'accident, taux intermédiaire

Tableau 6.6-5 Coût actualisé de la branche 4.8, avec et sans accident

Coût actualisé de la branche 4 .8	Taux d'actualisation haut	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation bas
Coût sans prise en compte d'un accident fictif	11 739 M€	18 637 M€	35 842 M€
Coût avec prise en compte d'un accident fictif	12 635 M€	24 552 M€	70 316 M€

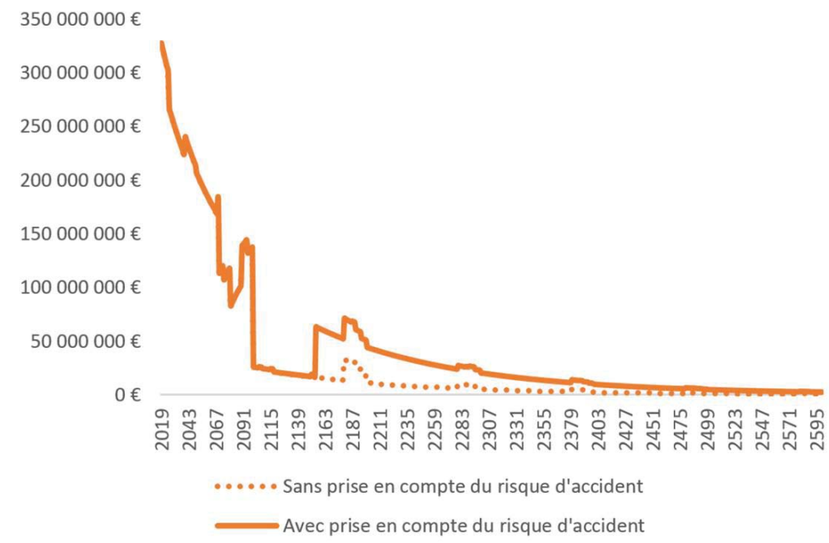


Figure 6.6-2 Coût actualisé de la branche 4.8, avec et sans prise en compte du risque d'accident, taux intermédiaire

Pour rappel, ces résultats minorent très probablement le coût de ces branches dans la mesure ou seul un incident touchant les déchets MA-VL a pu être modélisé ; les conséquences d'un incident portant sur les déchets HA n'ont pas été estimées au sein de cette évaluation.

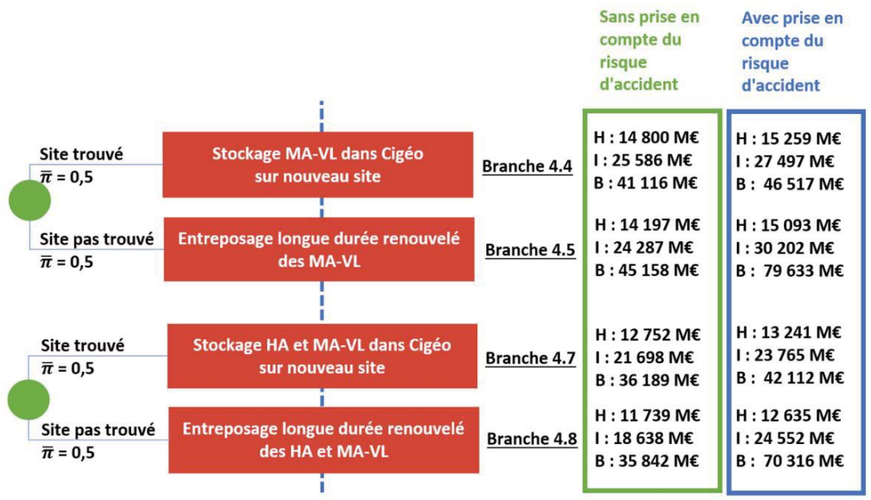
6.6.1.3 Espérance de l'option avec prise en compte d'un accident

Avec la prise en compte d'un accident fictif, le choix optimal pour le décideur public au sein de l'option 4 est modifié. Pour rappel, en scénario KO, le choix optimal (en termes uniquement de solution la moins couteuse entre les différentes branches de cette option 4) sans prise en compte d'un accident est le suivant (cf. chapitre 5 du présent document) :

- avec un taux d'actualisation élevé, le choix optimal au sein de cette option est de ne mettre en place aucune solution de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs même si une technologie prospective et un site sont trouvés et de gérer les déchets HA et MA-VL par de l'entreposage de longue durée renouvelé, pour un coût moyen de 11 739 millions d'euros.

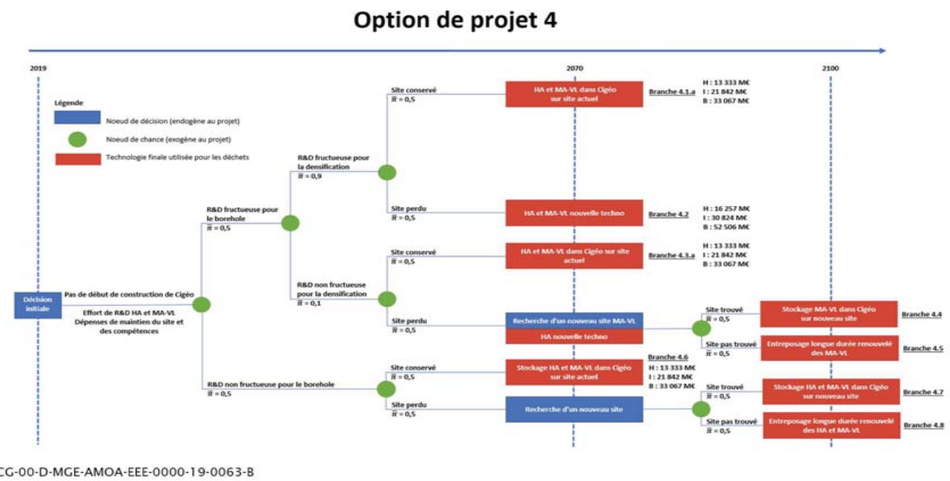
- avec un taux d'actualisation intermédiaire, le choix le moins coûteux au sein de l'option est également de ne mettre en place aucune technologie prospective, même si une technologie et un site sont trouvés et de gérer les déchets HA et MA-VL par de l'entreposage de longue durée renouvelé, pour un coût moyen de 18 638 millions d'euros ;
- avec un taux d'actualisation bas, le choix le moins coûteux est la mise en place du centre de stockage Cigéo en 2070 si le site de Meuse/Haute-Marne est conservé, et l'entreposage de longue durée renouvelé si le site est perdu. L'espérance de la branche s'élève à 34 455 millions d'euros.

Avec la prise en compte d'un accident fictif, les branches d'entreposage de longue durée renouvelé deviennent beaucoup plus coûteuses (voir Figure et tableau ci-après). L'ordre de préférence des branches au sein de l'option est ainsi modifié.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0062-B

Figure 6.6-3 *Zoom sur les branches 4.4, 4.5, 4.7, 4.8 modifiées par la prise en compte d'un accident, en scénario KO*



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0063-B

Figure 6.6-4 *Option 4 avec prise en compte des coûts d'un accident en scénario KO, représentation uniquement des branches optimales à chaque nœud de chance*

Avec le taux d'actualisation élevé, le meilleur choix, au sein de l'option 4, pour le décideur public préférant minimiser le coût est l'entreposage de longue durée renouvelé. La valeur espérée de l'option est donc tout simplement égale à la valeur espérée de la branche, soit 12 636 millions d'euros.

Avec un taux d'actualisation intermédiaire, la situation optimale au sein de l'option 4, n'est plus l'entreposage de longue durée renouvelé, mais la mise en place du centre de stockage Cigéo en 2070 sur le site de Meuse/Haute-Marne (21 842 M€). Le maintien du site n'étant pas garanti ; avec une probabilité en moyenne de 0,5, le site de Meuse/Haute-Marne est perdu. La seconde meilleure option est alors de relancer une recherche de site pour Cigéo en 2070. Si un site est trouvé en 2100, Cigéo est mis en œuvre sur ce site (23 765 M€) ; si un site n'est pas trouvé, le décideur a recours à l'entreposage de longue durée (24 552 M€). L'espérance de l'option est alors de 23 006 M€.

Avec un taux d'actualisation bas, la situation optimale au sein de l'option 4 est encore la mise en place du centre de stockage Cigéo en 2070 sur le site de Meuse/Haute-Marne (33 067 M€). Le cheminement optimal si le site est perdu est toutefois modifié. En effet, si le site est perdu, mais qu'une technologie prospective (et son site) est identifiée, il est préférable de mettre en œuvre la technologie prospective (52 506 M€). Si le site de Meuse/Haute-Marne est perdu et qu'aucune technologie prospective n'est trouvée, alors le décideur lance une nouvelle recherche de site pour Cigéo en 2070. Si un site est trouvé en 2100, Cigéo est mis en œuvre sur ce site (42 112 M€) ; si un site n'est pas trouvé, le décideur a recours à l'entreposage de longue durée (70 316 M€). L'espérance de l'option est alors de 43 825 M€.

VARIANTE DE L'OPTION 4 SANS R&D : QUEL COÛT DE LA VARIANTE EN TENANT COMPTE DE LA PROBABILITE D'ACCIDENT ?

Dans cette variante de l'option 4, l'abandon de la recherche d'une solution de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs est introduit dès 2019. Le risque d'accident apparaît comme pour les branches 4.5 et 4.8 à partir de 2155, et est comptabilisé jusqu'à la fin de la période d'étude (uniquement dans le scénario KO, comme pour les autres options) :

Ainsi, en scénario KO :

- avec un taux d'actualisation élevé, le coût de cette variante intégrant l'accident s'élève à 4 473 millions d'euros (versus 3 577 millions d'euros sans prise en compte de l'accident) ;
- avec un taux d'actualisation intermédiaire, ce coût s'élève à 14 221 millions d'euros (versus 8 306 millions d'euros sans prise en compte de l'accident) ;
- avec un taux d'actualisation faible, ce coût s'élève à 58 310 millions d'euros (versus 23 836 millions d'euros sans prise en compte de l'accident).

6.6.2 Comparaison avec l'option de projet 1

Les coûts de l'option 4 tenant compte de la probabilité d'accident sont désormais comparés (raisonnement différentiel requis par l'évaluation socioéconomique) à l'option de projet 1, dans un scénario KO. Les comparaisons sont effectuées dans un premier temps, avec la borne haute du taux d'actualisation, avec le taux intermédiaire, puis avec la borne basse.

Rappelons qu'un signe positif, dans la troisième colonne des tableaux ci-dessous, indique que l'option de projet 1 est l'option au coût global actualisé le plus bas ; alternativement, un signe négatif indique que l'option 4 aboutit à un coût global actualisé inférieur au coût global actualisé de l'option de projet 1

Tableau 6.6-6 *Récapitulatif des différences de coûts (y compris accident) entre les options de projet 1 et 4, avec un taux d'actualisation élevé, en scénario KO*

Scénario KO Actualisation haute	Valeur moyenne espérée	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global le plus faible
Option de projet 1	11 646 M€		
Option 4	12 636 M€	990 M€	65 %

La comparaison des coûts de l'option 4 avec l'option de projet 1 est désormais effectuée en utilisant la borne intermédiaire du taux d'actualisation :

Tableau 6.6-7 *Récapitulatif des différences de coûts (y compris accident) entre les options de projet 1 et 4, avec un taux d'actualisation intermédiaire, en scénario KO*

Scénario KO Actualisation intermédiaire	Valeur moyenne espérée	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global le plus faible
Option de projet 1	16 741 M€		
Option 4	23 006 M€	6 265 M€	99 %

La comparaison des coûts de l'option 4 avec l'option de projet 1 est enfin effectuée en utilisant la borne basse du taux d'actualisation :

Tableau 6.6-8 *Récapitulatif des différences de coûts (y compris accident) entre les options de projet 1 et 4, avec un taux d'actualisation bas, en scénario KO*

Scénario KO Actualisation basse	Valeur espérée	Différentiel moyen de coût actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global le plus faible
Option de projet 1	22 835 M€		
Option 4	43 825 M€	20 990 M€	100 %

En scénario KO, l'option de projet 1 l'emporte sur l'option 4, quel que soit le taux d'actualisation.

VARIANTE DE L'OPTION 4 SANS R&D : QUEL DIFFÉRENTIEL DE COÛT AVEC L'OPTION DE PROJET 1 ?

En scénario KO, c'est-à-dire avec la prise en compte d'un accident, la préférence pour l'option de projet 1 (versus la variante de l'option 4) dépend de la valeur du taux d'actualisation :

- avec un taux d'actualisation élevé, le delta moyen s'élève à – 7 173 millions d'euros ; la variante de l'option 4 est favorable dans 100 % des cas ;
- avec un taux d'actualisation intermédiaire, le delta moyen s'élève à - 2 520 millions d'euros ; l'option de projet 1 est favorable dans 42 % des tirages effectués ;
- avec un taux d'actualisation faible, le delta moyen s'élève à 35 475 millions d'euros ; l'option de projet 1 est favorable dans 99 % des cas.

7

Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

7.1 Recueil quantitatif des résultats de l'évaluation socioéconomique 224

7.2 Discussion et mise en perspective des résultats de l'évaluation socioéconomique 232

7.3 Observations finales et recommandations sur l'évaluation socioéconomique appliquée à la gestion des déchets radioactifs 241

L'évaluation socioéconomique permet de déterminer, par la comparaison chiffrée des coûts et bénéfices de différentes options, si l'une d'entre elles est souhaitable. En d'autres termes, cette méthode vise à éclairer l'opportunité de la dépense publique, en fonction des différentes options considérées. Pour cela, les coûts et les bénéfices doivent être évalués, même s'ils s'étalent sur une très longue période. Ils sont appréciés du point de vue de l'ensemble de la collectivité et non pas du point de vue uniquement du porteur de projet. Enfin, les coûts et bénéfices en question ne sont pas exclusivement de nature financière, mais peuvent également relever de dimensions sociale, sanitaire, environnementale.

L'évaluation socioéconomique nécessite de prendre en référence l'objet de l'investissement considéré, qui est qualifié d' « option de projet » : en l'occurrence, il s'agit de la réalisation par l'Andra du centre de stockage Cigéo sur le site de Meuse/Haute-Marne, selon les termes de la loi. Cette option de projet est désignée comme l' « option de projet 1 » dans le rapport. Elle est comparée à des options alternatives, appelées options 2, 3 et 4. Les options de projet considérées dans cette évaluation socioéconomique peuvent être résumées comme suit :

- **L'option de projet 1** prévoit que les premiers investissements du centre de stockage Cigéo : construction initiale ainsi que la phase industrielle pilote soient lancés, après avis favorable de l'ASN. À partir de 2040, si les autorisations sont obtenues, les déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue (MA-VL) y sont stockés, puis à partir de 2080, les déchets radioactifs de haute activité (HA). La phase de fermeture démarre vers 2145, dure environ 10 ans et laisse la géologie prendre le relais de l'intervention humaine.
- **L'option 2** désigne une configuration où, après réalisation des premiers investissements du centre de stockage Cigéo, seuls les déchets MA-VL sont stockés dans un premier temps à partir 2040. Dans cette option, l'hypothèse est posée d'un temps dédié à de la R&D supplémentaire pour trouver une autre technologie de mise en sécurité définitive[69] pour les déchets HA avec son site afférent. La décision de gestion pour ces déchets est prise en 2070 : en fonction des résultats de la recherche, soit la solution prospective est mise en œuvre pour les déchets HA, soit ceux-ci sont finalement stockés dans le centre de stockage Cigéo.
- **L'option 3** désigne une configuration où les premiers investissements du centre de stockage Cigéo sont également réalisés, mais sans enclenchement en 2040 du stockage des déchets MA-VL. En parallèle, jusqu'en 2070, des efforts de R&D sont entrepris en vue de trouver une solution définitive, autre que Cigéo, pour la gestion à la fois des déchets HA et des déchets MA-VL. Plusieurs possibilités s'ouvrent alors en fonction du succès desdites recherches et du coût des différentes solutions de gestion.
- **L'option 4** enfin, désigne une configuration où les premiers investissements du centre de stockage Cigéo ne sont pas réalisés, ce qui conduit à considérer un report de décision avec en parallèle, des efforts de R&D réalisés pour trouver une autre solution de mise en sécurité définitive des déchets HA et des déchets MA-VL. Les résultats de cette R&D ne sont pas garantis. Par ailleurs, le report de la décision introduit une probabilité de perte du site d'implantation du centre de stockage Cigéo en Meuse/Haute-Marne. Au final, 12 branches, dont 8 distinctes, se dessinent, en fonction du risque de la perte du site actuel du centre de stockage Cigéo, de l'issue de la R&D pour les déchets HA, de l'issue de la R&D pour les déchets MA-VL, et le cas échéant de l'issue de la recherche d'un nouveau site d'implantation pour le centre de stockage Cigéo. Deux des branches de l'option 4 (branches 4.5 et 4.8) conduisent à de l'entreposage de longue durée renouvelé, qui par définition, ne permet pas une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, puisqu'une surveillance active de l'homme et des investissements réguliers restent nécessaires sur un temps long, sans limite de durée identifiée.
  Ces branches, qui contreviennent à l'esprit de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4) et à la directive européenne[70] n° 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 (21), permettent toutefois de tenir compte de toutes les éventualités, y compris celles qui peuvent paraître inacceptables. Cette modélisation est par nature schématique ; d'autres partis pris auraient pu être envisagés, comme par exemple la poursuite de la recherche au-delà de 2070, jusqu'à ce qu'une technologie de mise

[69] Rappelons ici qu'une mise en sécurité définitive ou « solution définitive » repose sur un principe de surveillance passive après fermeture, c'est-à-dire ne nécessitant plus d'intervention humaine.

[70] Directive établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs.

en sécurité définitive et/ou un site soient trouvés, ce qui aurait nécessité de faire des hypothèses supplémentaires et n'aurait pas permis de mettre en évidence les risques associés à l'entreposage *sine die*.

Les comparaisons entre ces options sont réalisées en envisageant deux sociétés futures, l'une caractérisée par une croissance positive stable et des institutions fortes (scénario OK) et l'autre par une croissance en moyenne nulle et une société et/ou des institutions en délitement (scénario KO).

C'est l'horizon de vie inédit des déchets radioactifs qui a poussé à formuler de tels *scenarii*. Le projet du centre de stockage Cigéo est prévu pour être exploité pendant plus d'un siècle avant d'être fermé, afin que la géologie prenne le relais de la surveillance active de l'homme pour assurer le confinement des radionucléides. Mais en l'absence de solution de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, l'entreposage devrait être renouvelé continuellement et les générations futures auraient à se préoccuper activement, au fil des siècles, de la gestion de ces déchets (surveillance des colis et des sites d'entreposage, renouvellement des installations, reprise des colis usés ou abimés, etc.).

Or, la pérennité des normes de sûreté et de sécurité est une éventualité très discutable dans une société chaotique où la croissance s'effondre, où les institutions s'affaiblissent, où une instabilité est susceptible d'ouvrir le champ à des violences (terrorisme, conflit armé, etc.). Dès lors qu'il s'agit d'imaginer la société dans un futur très lointain, une telle instabilité ne peut être exclue (comme nous l'enseigne l'histoire du continent européen), et il est alors nécessaire de la modéliser pour identifier le dispositif le plus adapté pour gérer les déchets radioactifs, y compris dans un tel contexte.

Pour cette raison, en miroir d'un scénario OK, a été modélisé un scénario KO, où la fragilisation des institutions et de la gouvernance conduit à long terme à un effritement des règles de sûreté et de sécurité. Aucune alternance n'a été envisagée entre les deux *scenarii*, ceux-ci étant volontairement contrastés et persistants dans la durée.

Dans une société stable (scénario OK), les institutions disposent des outils de prévention et de gestion des situations accidentelles. Le risque d'accident grave, mesuré comme la valeur des pertes encourues pondérée par la probabilité de survenue de l'accident, apparait négligeable dans ce contexte en comparaison des autres grandeurs en jeu dans l'évaluation socioéconomique. Dès lors, dans ce scénario, les options diffèrent seulement par le coût de leur mise en œuvre. *A contrario*, dans le scénario KO, il a été considéré que la probabilité d'accident grave pouvait fortement augmenter, pour passer d'une valeur annuelle de 10^{-6} à une valeur comprise entre 10^{-4} et 10^{-3}. Ainsi, dans ce scénario, les options diffèrent non seulement par leurs coûts, mais également par leur capacité à protéger des conséquences d'un accident. L'évaluation socioéconomique qualifie de « bénéfice » les dommages évités grâce à certaines options.

Par ailleurs, les coûts de mise en place des différentes options varient selon le scénario retenu, en raison de la corrélation entre coûts et croissance économique, modélisée par l'intégration de prix relatifs.

Rappelons enfin que pour ces deux *scenarii*, une discussion sur le poids à accorder aux coûts et bénéfices futurs a été engagée. Cette discussion a conduit à envisager différents profils de taux d'actualisation :

- une borne haute, certes conforme aux recommandations en vigueur, mais qui écrase fortement les coûts et bénéfices futurs appliquée à un projet aussi exceptionnellement long ;
- une borne basse, qui atténue moins fortement l'importance des flux futurs ;
- et un taux d'actualisation intermédiaire, déterminé comme une valeur comprise entre la borne haute et la borne basse.

Cette approche est apparue comme la plus cohérente en termes méthodologiques eu égard à l'horizon extrêmement lointain qui caractérise la gestion des déchets radioactifs. L'encadré ci-après rappelle les hypothèses sous-jacentes attribuées aux composantes des taux d'actualisation (cf. chapitre 3 et Annexe 14 pour le détail).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

TAUX D'ACTUALISATION ET TEMPS LONG

Pour mémoire, le taux d'actualisation est la somme d'un taux sans risque (rf) et d'une prime de risque ($\beta\varphi$) ; cette dernière étant le produit de la corrélation entre les flux du projet et l'évolution du PIB[71] (β) et de la volatilité macroéconomique (φ).

$$r = rf+\beta\varphi$$

Ainsi, **dans le scénario OK** :

L'évolution du taux sans risque est la suivante :

- le taux sans risque haut est calé jusqu'en 2070 sur les recommandations officielles : il est stable à 2,5 %, puis il baisse linéairement pour perdre 1 point de pourcentage en 100 ans, puis baisse à nouveau de 0,5 point sur les 100 années qui suivent, avant d'être stable à 1 % à partir de 2270 ;
- le taux sans risque bas démarre, lui, à 2 %, où il est dans un premier temps stable, puis décroissant, puis à nouveau stable à 0,1 % à partir de 2170 ;
- enfin, le taux sans risque intermédiaire démarre à 2,25 %, il est également stable jusqu'en 2070, il fléchit jusqu'en 2270 à 0,5 %, année à partir de laquelle il est à nouveau stable.

Les bêtas et phi connaissent également des évolutions dans le temps.

Les bêtas sont, dans un premier temps, stables, puis ils diminuent linéairement entre 2070 et 2170, puis ils sont à nouveau stables. Cette tendance baissière donne de la cohérence au fait que le taux de croissance des coûts ou des bénéfices ne soit pas supérieur au taux d'actualisation. Notons qu'une distinction est établie entre les bêtas des flux liés au génie civil et ceux liés à la recherche ou au maintien des compétences. En effet, ces deux types de flux n'ont pas la même élasticité au PIB.

Enfin, phi connait une évolution à la hausse, conformément aux recommandations du rapport Quinet, qui sont utilisées pour la borne haute (φ = 2 jusqu'en 2070, puis il augmente linéairement jusqu'à 3 en 2170, puis il est stable au-delà). En borne basse, φ = 1 puis 2. Dans le taux intermédiaire, φ = 1,5 puis 2,5.

Le même raisonnement est appliqué **dans le scénario KO**, avec des valeurs toutefois différentes. En particulier, le taux sans risque tient notamment compte des anticipations portant sur la croissance économique (règle de Ramsey). Or dans le scénario KO, la croissance chute dès 2019, jusqu'en 2100, puis elle est nulle.

Dès lors, le taux sans risque haut du scénario KO s'établit à 1,5 % en 2019 et il chute linéairement à 1 % jusqu'en 2100 pour tenir compte d'une certaine préférence pour le présent. Il est ensuite stable. Le taux sans risque intermédiaire chute de 1,25 à 0,5, puis il est stable. Le taux sans risque bas chute de 1 à 0,1 entre 2019 et 2100, puis il est stable.

Les bêtas ont des valeurs de départ identiques à ceux du scénario OK (pour les flux liés au génie civil : 1,5 pour le bêta haut, 0,8 pour le bêta intermédiaire et 0,1 pour le bêta bas ; pour les flux liés à la recherche : 1 pour le bêta haut, 0,5 pour le bêta intermédiaire et 0 pour le bêta bas), mais ils chutent plus rapidement et dès le départ (sauf le bêta bas qui est stable sur toute la durée d'étude) : ils atteignent en 2100 dans le scénario KO la valeur qu'ils atteignent en 2170 en OK (pour les flux liés au génie civil : 0,3 pour le bêta haut, 0,2 pour le bêta intermédiaire ; pour les flux liés à la recherche : 0,1 pour le bêta haut et 0,05 pour le bêta intermédiaire). À partir de 2100, ils sont stables.

Le même raisonnement est appliqué pour les phi qui ont une même valeur de départ qu'en scénario OK, mais qui augmentent dès 2019 pour atteindre le palier en 2100, ce qui est cohérent avec un risque macroéconomique plus élevé en KO.

[71] À travers le coefficient bêta, la prise en compte du risque systémique aboutit à une réduction de la valeur des avantages attendus des investissements si ces avantages sont positivement corrélés avec l'activité économique, dont ils amplifient alors les fluctuations, et vice-versa si la corrélation est négative, auquel cas ils ont un effet stabilisateur bénéfique.

Après calcul, le tableau ci-dessous résume les valeurs de taux d'actualisation appliquées dans les deux *scenarii*.

Tableau 6.6-1 Les valeurs de taux d'actualisation appliquées dans les deux scenarii

Taux d'actualisation		Scénario OK			Scénario KO	
		Jusqu'en 2070	En 2170	À partir de 2270	En 2019	À partir de 2100
Flux de génie civil	Taux d'actualisation haut	5,5 %	2,4 %	1,9 %	4,5 %	1,9 %
	Taux d'actualisation intermédiaire	3,45 %	1,50 %	1 %	2,5 %	1 %
	Taux d'actualisation bas	2,1 %	0,3 %	0,3 %	1,1 %	0,3 %
Flux de recherche et maintien des compétences	Taux d'actualisation haut	4,5 %	1,8 %	1,3 %	3,5 %	1,3 %
	Taux d'actualisation intermédiaire	3 %	1,13 %	0,63 %	2 %	0,63 %
	Taux d'actualisation bas	2 %	0,1 %	0,1 %	1 %	0,1 %

Le modèle intègre enfin des valeurs d'options qui permettent de tenir compte de l'acquisition d'informations au cours du temps concernant certains paramètres (succès des recherches prospectives, capacité à maintenir en attente le site de Meuse/Haute-Marne, etc.)

Les paramètres essentiels du modèle ainsi que sa philosophie étant résumés, les chapitres suivants sont focalisés sur ses résultats. Le chapitre 7.1 du présent document, s'en tient au recueil quantitatif des résultats du modèle socioéconomique afin de synthétiser une présentation brute et non commentée des résultats, tandis que le chapitre 7.2 de ce document, analyse et discute ces résultats. Enfin, le chapitre 7.3 de ce document, rappelle les limites du modèle et plus généralement de l'évaluation socioéconomique.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

7.1 Recueil quantitatif des résultats de l'évaluation socioéconomique

Le tableau ci-dessous synthétise pour chaque scénario et selon le taux d'actualisation considéré, l'option qui présente le coût moyen espéré le plus faible, parmi les options 1, 2, 3 et 4.

Nous verrons dans le chapitre 7.2 que ce résultat mérite d'être discuté afin de tenir compte d'un éventuel bénéfice assurantiel associé aux solutions de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs.

Tableau 7.1-1 Synthèse des résultats par scénario et taux d'actualisation, avec probabilité d'occurrence sur 10 000 tirages

Taux d'actualisation / *Scenarii*	Taux d'actualisation bas	Taux d'actualisation intermédiaire	Taux d'actualisation haut
Scénario OK	Option de projet 1 (86 %)	Option 4 (56 %)	Option 4 (65 %)
Scénario KO	Option de projet 1 (100 %)	Option de projet 1 (99 %)	Option de projet 1 (65 %)

Rappelons que l'option de projet 1 consiste en la réalisation du centre de stockage Cigéo, tel que prévu par l'Andra, en réponse à la loi. L'option 4 consiste à réaliser un effort supplémentaire en R&D pour les déchets HA et MA-VL, sans investissement immédiat dans le centre de stockage Cigéo ; elle comporte le double risque de perte du site actuel de Meuse/Haute-Marne et d'échec d'une technologie prospective de mise en sécurité définitive. Les pourcentages correspondent aux résultats issus des 10 000 tirages aléatoires visant à tenir compte des plages d'aléas sur les coûts.

Les chapitres ci-après détaillent les résultats quantitatifs pour le scénario OK, puis pour le scénario KO.

7.1.1 Résultats dans le scénario OK

Nous nous plaçons ici dans le scénario OK, au sein duquel les institutions sont fiables et les normes respectées, de sorte que la probabilité d'accident lié à la gestion des déchets radioactifs, quelle que soit l'option, est considérée comme négligeable. La modélisation du scénario OK repose donc uniquement sur les coûts des différentes options. Ainsi, les résultats consistent en un différentiel de coût global actualisé des différentes options par rapport à l'option de projet 1 (Cigéo, tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi), détaillés pour chaque taux d'actualisation.

7.1.1.1 Résultats dans un scénario OK, avec un taux d'actualisation bas

Le tableau ci-après résume les différentiels de coûts des options dans le scénario OK, avec une borne basse du taux d'actualisation.

Les chiffres indiqués dans ce tableau tiennent compte du risque d'aléas sur les coûts. La dernière colonne du tableau indique la probabilité que l'option de projet 1 soit préférable aux autres, probabilité qui a été estimée en effectuant 10 000 tirages aléatoires de la valeur des différents paramètres de coûts pour lesquels une plage d'incertitude a été définie (selon la méthode « Monte Carlo »).

Tableau 7.1-2 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne basse du taux d'actualisation

Scénario OK Actualisation basse	Coût global actualisé espéré de l'option	Différentiel moyen de coût global actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	14 482 M€	-	-
Option 2	18 225 M€	3 743 M€	100 %
Option 3	20 714 M€	6 232 M€	100 %
Option 4	17 133 M€	2 649 M€	86 %

Le « coût global actualisé espéré » (deuxième colonne) est la moyenne des valeurs optimales (c'est-à-dire des branches aux coûts les plus faibles) multipliées par leur probabilité d'occurrence. Par exemple, la valeur espérée de l'option 4 est de 17 133 millions d'euros : la branche qui aboutit au coût le plus faible est la branche 4.7 (où les déchets HA et MA-VL sont stockés en couche géologique profonde sur un nouveau site recherché après 2070) pour un coût de 17 022 millions d'euros. Cependant, sa probabilité d'occurrence est comprise entre 0,3 et 0,7, en moyenne à 0,5. Il convient donc de tenir compte de la deuxième meilleure branche, au cas où la branche 4.7 ne serait pas disponible, si un nouveau site n'était pas trouvé. La deuxième meilleure branche en termes de coûts est la branche 4.8, c'est-à-dire de l'entreposage de longue durée renouvelé, pour un coût de 17 240 millions d'euros et qui reste une branche disponible par défaut de succès de la branche 4.7 (cf. l'arbre du chapitre 5.5.2.1 du présent document, pour retrouver les détails des coûts des différentes branches).

Nous rappelons également, qu'un signe positif, dans la troisième colonne des tableaux ci-avant et ci-après, indique que l'option de projet 1 est l'option au coût global actualisé le plus bas ; alternativement, un signe négatif indique que les options 2, 3 ou 4 aboutissent à un coût global actualisé inférieur au coût global actualisé de l'option de projet 1.

Ainsi, dans le scénario OK et avec un taux d'actualisation bas, le coût global actualisé minimal est obtenu par l'option de projet 1.

Le différentiel moyen de coût global actualisé des options 2, 3, et 4 par rapport à l'option de projet 1 fait état de valeurs supérieures de l'ordre de 2 à 6 milliards d'euros selon les options.

La probabilité que l'option de projet 1 ressorte comme la moins onéreuse, sur 10 000 tirages, est de 100 % face aux options 2 et 3 et à 86 % face à l'option 4.

7.1.1.2 Résultats dans un scénario OK, avec un taux d'actualisation intermédiaire

Le tableau ci-dessous résume les différentiels de coûts des options, dans le scénario OK, avec une valeur intermédiaire du taux d'actualisation.

Tableau 7.1-3 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, taux d'actualisation intermédiaire

Scénario OK Actualisation intermédiaire	Coût global actualisé espéré de l'option	Différentiel moyen de coût global actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	12 544 M€	-	-
Option 2	16 013 M€	3 469 M€	100 %
Option 3	18 042 M€	5 498 M€	100 %
Option 4	12 096 M€	-448 M€	44 %

Dans le scénario OK et avec un taux d'actualisation intermédiaire, le coût global actualisé minimal est obtenu par l'option 4.

Le différentiel moyen de coût global actualisé est faible avec l'option de projet 1 (448 millions d'euros). La probabilité que l'option 4 ait un coût inférieur à l'option de projet 1 est de 56 % sur 10 000 tirages (en miroir, l'option de projet 1 a un coût inférieur à l'option 4 dans 44 % des tirages). La probabilité que l'option de projet 1 soit plus favorable que les options 2 et 3 est de 100 %.

7.1.1.3 Résultats dans un scénario OK, avec un taux d'actualisation élevé

Le tableau ci-dessous résume les différentiels de coûts des options, dans le scénario OK, avec une borne haute du taux d'actualisation.

Tableau 7.1-4 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne haute du taux d'actualisation

Scénario OK Actualisation haute	Coût global actualisé espéré de l'option	Différentiel moyen de coût global actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	9 836 M€	-	-
Option 2	12 771 M€	2 935 M€	100 %
Option 3	14 315 M€	4 479 M€	100 %
Option 4	9 019 M€	-817 M€	35 %

Dans le scénario OK et avec un taux d'actualisation haut, le coût global actualisé minimal est obtenu par l'option 4.

Le différentiel moyen de coût global actualisé entre l'option 4 et l'option de projet 1 est relativement faible (817 millions d'euros).

La probabilité que l'option 4 ait un coût inférieur à l'option de projet 1 est de 65 % sur 10 000 tirages (en miroir, l'option de projet 1 a un coût inférieur à l'option 4 dans 35 % des tirages). La probabilité que l'option de projet 1 soit moins coûteuse que les options 2 et 3 avec un taux d'actualisation élevé dans un scénario OK, est de 100 %.

7.1.1.4 Résultats dans un scénario OK, avec valeur d'option

Comme indiqué dans le chapitre 5, le modèle permet également de tenir compte de valeurs d'options. Il s'agit, à travers ces valeurs, de mesurer l'avantage qu'offrent certaines options en termes de flexibilité. Ainsi, une option qui repose sur un choix en 2070 peut apparaître peu attractive aujourd'hui, au vu des valeurs moyennes des paramètres de coûts qui conditionneront ce choix, mais s'avérer plus intéressante en 2070, si les paramètres en question ont évolué favorablement. La valeur d'option permet de tenir compte de cet écart lié à l'acquisition d'information jusqu'en 2070.

Les résultats obtenus sont très voisins de la modélisation sans valeur d'option, en réduisant toutefois les espérances de coût des branches dans lesquelles se produit une acquisition d'information. Cela s'explique au niveau calculatoire, par le traitement qui est opéré. Sans valeur d'option, il consiste à tenir compte de la moyenne des tirages de coûts issus de la simulation de Monte-Carlo, puis de retenir la solution la moins chère (« minimum des moyennes »). Avec les valeurs d'options, le traitement consiste, pour chaque tirage, à retenir directement l'option la moins chère (« moyenne des minimas »).

Les valeurs d'option ne sont appliquées qu'à l'option 4 qui est la plus sensible du point de vue des résultats : en effet, en fonction des *scenarii* et des taux d'actualisation, les résultats peuvent donner une préférence pour l'option de projet 1 ou pour l'option 4. *A contrario*, les options 2 et 3 sont systématiquement et sans ambiguïté, « dominées » par l'option de projet 1, dont le coût actualisé reste inférieur. Compte tenu des résultats avec valeur d'option obtenus pour l'option 4, il est apparu évident que la réduction de coûts des options 2 et 3 liée à l'introduction des valeurs d'option n'aurait pas changé la hiérarchie des options.

Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'option 4, sans et avec application des valeurs d'options et compare les résultats avec ceux de l'option de projet 1, dans le scénario OK.

Tableau 7.1-5 Option 4 sans et avec valeurs d'options en scénario OK et comparaison avec l'option de projet 1

Scénario OK	Option de projet 1	Option 4 sans valeur d'option	Probabilité que l'option de projet 1 ait un coût global actualisé plus faible que l'option 4, sur 10 000 tirages	Option 4 avec valeur d'option	Valeur d'option de l'option 4	Probabilité que l'option de projet 1 ait un coût global actualisé plus faible que l'option 4 avec valeur d'option, sur 10 000 tirages
Taux d'actualisation bas	14 482 M€	17 133 M€	86 %	16 786 M€	347 M€	80 %
Taux d'actualisation intermédiaire	12 544 M€	12 096 M€	44 %	12 096 M€	< 100 k€	43 %
Taux d'actualisation haut	9 836 M€	9 019 M€	35 %	9 018 M€	< 200 k€	35 %

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

7.1.2 Résultats dans le scénario KO

Dans le scénario KO, un risque d'accident est introduit pour prendre en compte la fragilité des institutions réduisant la capacité de l'État à décider et à agir, fragilité qui peut aboutir à l'abandon sans surveillance des sites d'entreposage et à l'exposition à des dangers divers : la description qualitative des risques auxquels sont soumises les différentes options met en évidence qu'une des principales différences de risques entre les options concerne l'incendie sur un site d'entreposage après la fermeture de Cigéo, à savoir sur la période post 2155. Avant 2155, les options diffèrent peu, dans un premier temps, en termes d'exposition à un accident ; par ailleurs, la probabilité de survenue d'un accident est conditionnée à une hypothèse de nombreuses années de dégradation des normes et d'abandon des sites d'entreposage.

Ainsi, une probabilité d'accident est prise en compte, issue d'un incendie en entreposage (probabilité distribuée entre 10^{-4} et 10^{-3}), dans les branches 4.5 et 4.8 de l'option 4, qui conduisent à de l'entreposage de longue durée renouvelé[72]. Les options 1, 2 et 3 ne peuvent, quant à elles, donner lieu qu'à une solution de mise en sécurité définitive des déchets, mises en œuvre dans des délais similaires, quelles que soient les branches. Elles ne sont donc pas sujettes à ce risque d'accident.

Les comparaisons entre l'option de projet 1 et les options 2 et 3 reposent uniquement sur les coûts, comme en scénario OK ; en revanche, pour les comparaisons entre l'option de projet 1 et l'option 4, les différences concernent à la fois les coûts de mise en œuvre de la solution et les éventuels coûts consécutifs à un incendie dans les branches menant à de l'entreposage de longue durée renouvelé.

En tenant compte de ce différentiel portant sur le risque d'accident (dont les conséquences ont été estimées *a minima* et en prenant des hypothèses conservatrices) et sur les coûts des différentes options dans ce scénario KO, on obtient les résultats présentés dans les chapitres suivants.

7.1.2.1 Résultats dans un scénario KO, avec un taux d'actualisation bas

Le tableau ci-dessous résume les résultats du scénario KO avec la borne basse du taux d'actualisation.

Les chiffres indiqués dans ce tableau tiennent compte des risques d'aléas de sur- et de sous-estimation des coûts et des bénéfices, gérés *via* des simulations de Monte-Carlo. Par ailleurs, pour rappel, la probabilité d'accident est distribuée entre 10^{-4} et 10^{-3}.

[72] Les branches 4.4 et 4.7 conduisent à entreposer les déchets radioactifs pendant une période plus longue que les autres branches (hors branches 4.5 et 4.8), en raison du temps dédié à la recherche d'un nouveau site de stockage en couche géologique profonde pour les déchets MA-VL (branche 4.4) ou pour les déchets HA et MA-VL (branche 4.7). In fine, ces branches conduisent bien à la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, mais la probabilité d'accident différentielle leur est appliquée jusqu'à ce que les déchets soient effectivement stockés.

Tableau 7.1-6 Récapitulatif des coûts des options de projet, dans un scénario KO, borne basse du taux d'actualisation

Scénario KO Actualisation basse	Coût global actualisé espéré de l'option	Différentiel moyen de coût global actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	22 835 M€		
Option 2	27 726 M€	4 891 M€	100 %
Option 3	32 678 M€	9 843 M€	100 %
Option 4	43 825 M€	20 990 M€	100 %

Dans le scénario KO et avec un taux d'actualisation bas, le coût global actualisé minimal est obtenu par l'option de projet 1.

Le différentiel moyen de coût global actualisé de l'option de projet 1 avec les options 2, 3, et 4 fait état de valeurs supérieures de l'ordre de près de 5 à 21 milliards d'euros selon les options.

La probabilité que l'option de projet 1 ait un coût actualisé inférieur aux options 2, 3 et 4 est de 100 % sur 10 000 tirages.

7.1.2.2 Résultats dans un scénario KO, avec un taux d'actualisation intermédiaire

Le tableau ci-dessous résume les résultats du scénario KO avec le taux d'actualisation intermédiaire.

Tableau 7.1-7 Récapitulatif des coûts des options de projet, dans un scénario KO, taux d'actualisation intermédiaire

Scénario KO Actualisation intermédiaire	Coût global actualisé espéré de l'option	Différentiel moyen de coût global actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	16 741 M€	-	-
Option 2	21 046 M€	4 305 M€	100 %
Option 3	24 271 M€	7 530 M€	100 %
Option 4	23 006 M€	6 265 M€	99 %

Dans le scénario KO et avec un taux d'actualisation intermédiaire, le coût global actualisé minimal est obtenu par l'option de projet 1.

Le différentiel moyen de coût global actualisé de l'option de projet 1 avec les options 2, 3, et 4 fait état de valeurs supérieures de l'ordre de 4 à 7 milliards d'euros selon les options.

La probabilité que l'option de projet 1 ait un coût global actualisé inférieur à l'option 4 est de 99 % sur 10 000 tirages, et de 100 % face aux options 2 et 3.

7.1.2.3 Résultats dans un scénario KO, avec un taux d'actualisation élevé

Le tableau ci-après indique le résultat du calcul socioéconomique pour chaque option, dans un scénario KO, avec la borne haute du taux d'actualisation.

Tableau 7.1-8 Récapitulatif des coûts des options de projet, en scénario KO, taux d'actualisation haut

Scénario KO Actualisation haute	Coût global actualisé espéré de l'option	Différentiel moyen de coût global actualisé avec l'option de projet 1	Probabilité que l'option de projet 1 ait le coût global actualisé le plus faible, sur 10 000 tirages
Option de projet 1	11 646 M€		
Option 2	15 140 M€	3 494 M€	100 %
Option 3	17 194 M€	5 548 M€	100 %
Option 4	12 636 M€	990 M€	65 %

Dans le scénario KO et avec un taux d'actualisation haut, le coût global actualisé minimal est obtenu par l'option de projet 1.

Le différentiel moyen de coût global actualisé de l'option de projet 1 avec les options 2, 3, et 4 fait état de valeurs supérieures de l'ordre de près de 1 à 5 milliards d'euros selon les options.

La probabilité que l'option de projet 1 ait un coût global actualisé inférieur à l'option 4 est de 65 % sur 10 000 tirages, et de 100 % face aux options 2 et 3.

7.1.2.4 Résultats dans un scénario KO avec valeur d'option

Comme pour le scénario OK, des valeurs d'options sont calculées en scénario KO, uniquement pour l'option 4, qui est l'option la plus sensible.

Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'option 4, sans et avec application des valeurs d'options et compare les coûts avec ceux de l'option de projet 1, pour le scénario KO. Les écarts s'atténuent de façon très minime.

Tableau 7.1-9 Option 4 sans et avec valeurs d'options dans un scénario KO et comparaison avec l'option de projet 1

Scénario KO	Option de projet 1	Option 4 sans valeur d'option	Probabilité que l'option de projet 1 ait un coût global actualisé plus faible que l'option 4, sur 10 000 tirages	Option 4 avec valeur d'option	Valeur d'option de l'option 4	Probabilité que l'option de projet 1 ait un coût global actualisé plus faible que l'option 4 avec valeur d'option, sur 10 000 tirages
Taux d'actualisation bas	22 835 M€	43 825 M€	100 %	43 047 M€	778 M€	100 %
Taux d'actualisation intermédiaire	16 741 M€	23 006 M€	99 %	22 265 M€	363 M€	97 %
Taux d'actualisation haut	11 646 M€	12 636 M€	65 %	12 589 M€	47 M€	64 %

Ces résultats avec valeurs d'option dans le scénario KO confirment ceux obtenus pour l'effet des valeurs d'options dans un scénario OK. Cet effet est tout à fait négligeable. Aussi, dans la suite de ce chapitre, ce sont les chiffres sans valeur d'option, très proches et plus faciles à interpréter, qui seront retenus.

7.1.3 Date de réalisation du centre de stockage Cigéo

Les résultats bruts détaillés ci-dessus mettent en évidence que l'option de projet 1, c'est-à-dire la réalisation du centre de stockage Cigéo, est, dans la plupart des configurations du modèle, l'option la plus souhaitable (ces résultats sont discutés et mis en perspective dans le chapitre 7.2). Une autre question posée par l'évaluation socioéconomique concerne la date de réalisation du projet.

En d'autres termes, il convient de déterminer s'il est nécessaire de réaliser le centre de stockage Cigéo dès à présent, ou bien si une date ultérieure, disons décalée de 10 ans ou 20 ans, permettrait d'optimiser le coût global actualisé, sans remise en question de cette solution.

Un calcul simpliste consisterait simplement à translater le démarrage des coûts de Cigéo dans la chronique étudiée, et d'y ajouter des coûts d'entreposage supplémentaires pendant la durée souhaitée. Malgré ces coûts supplémentaires d'entreposage, il ressort en première analyse que le poids de l'actualisation est plus fort, c'est-à-dire que plus on décale la date de réalisation, plus le coût global actualisé est faible, ce qui reviendrait à dire que le décalage est favorable. Cependant, on observe que c'est le premier pas de temps qui fait décroître le plus fortement le coût global actualisé du centre de stockage Cigéo. Par exemple, en scénario OK, avec un taux d'actualisation haut, le coût global actualisé de Cigéo s'élève à 9,8 milliards d'euros si le projet est réalisé dès 2019. Ce coût s'abaisse de 2 milliards d'euros si le projet est décalé de 10 ans, et seulement d'un milliard d'euros supplémentaire si le projet est décalé de 20 ans. De la même façon, en scénario KO, avec un taux d'actualisation haut, le coût global actualisé s'élève à 11,6 milliards d'euros si le projet est réalisé dès 2019. Ce coût s'abaisse de 1,7 milliards d'euros si le projet est décalé de 10 ans, et seulement d'un milliard d'euros supplémentaire si le projet est décalé de 20 ans. Notons également qu'en scénario KO, avec un taux d'actualisation bas, le coût actualisé, si le projet est décalé de 20 ans (soit en 2039), est plus élevé que si le projet est réalisé en 2029 ou même qu'en 2019 (cf. chapitre 5.2.4.1 du présent document).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

De plus, les décennies pendant lesquelles Cigéo n'est pas réalisé font courir le risque, à nouveau, de perdre le site de Meuse/Haute-Marne, de devoir chercher un nouveau site et de prendre le risque de ne pas le trouver à nouveau. De ce fait, il ne s'agit pas d'une simple translation de durée équivalente entre le démarrage et la mise en œuvre opérationnelle : un décalage de 10 ans au démarrage, en cas de perte de site reporte le démarrage d'une nouvelle mise en œuvre opérationnelle d'une cinquantaine d'année. Ce qui, du point de vue de l'actualisation, a des fortes incidences sur les coûts.

Par ailleurs, tout décalage de la mise en stockage des déchets radioactifs expose au risque d'accident en scénario KO.

Ainsi, si l'ensemble de ces paramètres était pris en compte (probabilité de perte de site, probabilité de ne pas trouver un nouveau site et probabilité d'accident intervenant sur la période de décalage), il apparait intuitivement que les écarts de coûts entre une réalisation immédiate et une réalisation légèrement différée devraient être encore plus faibles, laissant penser que la date optimale de réalisation de Cigéo, si elle n'est pas en 2019, est tout de même relativement proche.

7.2 Discussion et mise en perspective des résultats de l'évaluation socioéconomique

7.2.1 Discussion concernant les résultats quantitatifs

Les résultats de cette évaluation socioéconomique font ressortir plusieurs enseignements.

Tout d'abord, la comparaison entre l'option de projet 1 et les options 2 et 3 met en évidence que quel que soit le scénario considéré (OK comme KO) et le taux d'actualisation envisagé (haut, intermédiaire ou bas), l'option de projet 1 domine les options 2 et 3. En effet, ces dernières ne résistent pas à un effet de « double astreinte » lié au fait de réaliser à la fois les premiers investissements du centre de stockage Cigéo et des investissements supplémentaires en R&D pour trouver une autre solution de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, alternative au stockage en couche géologique profonde.

En revanche, la comparaison entre l'option de projet 1 et l'option 4 débouche sur des conclusions plus nuancées, qui dépendent du scénario considéré et/ou du taux d'actualisation envisagé.

En scénario KO, l'option de projet 1 l'emporte également sur l'option 4, et ce, quel que soit le taux d'actualisation envisagé.

En effet, la perspective d'un scénario de société chaotique fait pencher la balance en faveur d'une mise en œuvre du centre de stockage Cigéo, plutôt qu'en faveur de l'option 4, le différentiel de valeur entre ces deux options étant compris entre environ 1 et 20 milliards d'euros selon le taux d'actualisation retenu.

En scénario OK, les résultats diffèrent selon le taux d'actualisation :

- avec un taux d'actualisation bas, dans 86 % des tirages, l'option de projet 1 est moins coûteuse. Elle constitue donc l'option à recommander ;
- avec un taux d'actualisation intermédiaire, la valeur espérée de l'option 4 est la plus faible. Notons toutefois que, selon les tirages, il existe une proportion élevée de cas (44 %) où l'option de projet 1 est moins onéreuse que l'option 4, et qu'en moyenne le différentiel de coût global actualisé entre ces deux options ne dépasse pas le demi-milliard d'euros ;
- enfin, avec un taux d'actualisation haut, la valeur espérée du coût de l'option 4 est plus faible (de moins d'un milliard d'euros), et ce dans une importante majorité de cas (65 %), ce qui pourrait conduire à recommander, si un tel choix d'actualisation était considéré, de prendre le risque de perdre le site de Meuse/Haute-Marne, d'interrompre la dynamique en faveur de la solution de

stockage géologique profond et du centre de stockage Cigéo et de se concentrer sur un investissement en R&D pour tenter de trouver une solution de gestion définitive alternative. En fonction des résultats de cette R&D, l'entreposage de longue durée renouvelé, qui n'offre pas ce caractère de mise en sécurité définitive, et nécessite une gestion active par l'homme, pourrait être la seule issue.

Cette situation conduit à pointer un résultat particulier de la modélisation de l'option 4. Cette dernière permet en principe de choisir différentes possibilités : Cigéo différé dans le temps, mise en œuvre d'une technologie prospective, entreposage de longue durée renouvelé, etc. Pourtant, les calculs indiquent qu'au sein de cette option, la branche 4.8 conduisant à de l'entreposage de longue durée renouvelé à partir de 2070 est souvent préférée, même dans le cas où les recherches aboutissent ou si le site de Meuse/Haute-Marne a pu être conservé. En effet, l'entreposage de longue durée renouvelé pour les déchets HA et MA-VL (branche 4.8) est la solution qui présente le coût actualisé le plus faible dans le scénario OK, dans la majorité des tirages, avec les taux haut et intermédiaire (cf. chapitre 5.5.2.1 du présent document), et ce alors même que la branche 4.8 contient des coûts de R&D jusqu'en 2070.

Cette observation s'applique également dans le scénario KO. Bien que l'option de projet 1 domine les options 2, 3 et 4, au sein de l'option 4, avec le taux d'actualisation bas, c'est la branche 4.8 qui est la moins onéreuse de toutes les branches (cf. chapitre 5.5.2.2 du présent document), alors même qu'elle inclut des coûts de R&D. Cela invite à considérer une variante de l'option 4, qui prévoirait, dès 2019, de ne s'en tenir qu'à des dépenses d'entreposage des déchets radioactifs, sans dépense de R&D[73].

Rappelons que les branches 4.5 et 4.8 et la variante de l'option 4 sont logiques du point de vue mathématique, mais qu'elles ne sont pas conformes à l'esprit de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 (4), et qu'elles ne sont pas non plus vues comme acceptables dans aucun des pays passés en revue dans le présent rapport (cf. Annexe 1 à Annexe 13), eu égard aux risques qu'elles comportent pour les générations futures. Ainsi, l'option de projet 1 d'une part, et l'option 4 (ou sa variante) d'autre part, ne sont pas équivalentes en termes de service rendu : l'option de projet 1 répond à une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, ce qui n'est pas le cas de l'option 4 lorsqu'elle conduit à de l'entreposage renouvelé *sine die* (ni celui de la variante de l'option 4).

Ces options ne sont donc pas pleinement comparables. Leur comparaison nécessiterait d'introduire, au-delà de la comparaison en termes de coûts, un bénéfice qui n'a pas été intégré dans le calcul et que l'on pourrait qualifier de « bénéfice assurancier ». En effet, la modélisation de l'option de projet 1 ne valorise pas le fait que cette option permette de répondre à certaines préoccupations des générations actuelles, telles que la crainte d'une alternance de scénario avec le KO, le transfert du risque accidentel à des générations futures qui n'auront pas profité directement des avantages du nucléaire, ou toute autre volonté de répondre à une demande collective en ce domaine. Ce bénéfice assurantiel est discuté dans le chapitre ci-après.

7.2.2 Le bénéfice assurantiel du centre de stockage Cigéo

7.2.2.1 Bénéfice assurantiel et aversion collective au risque

La littérature en économie normative s'est interrogée de longue date sur le comportement collectif qu'il convient d'adopter face au risque. L'un de ses résultats centraux indique que si un risque est uniformément distribué entre des individus (soit pas sa nature, soit par un système public ou privé d'assurance), le degré d'aversion collective de ces derniers est inversement proportionnel à leur nombre, de sorte qu'il devient négligeable lorsque ce nombre est suffisamment grand[74]. En d'autres termes,

[73] Cette variante inclut également des dépenses de GIP jusqu'en 2025, ainsi que des dépenses de maintien des compétences sur toute la durée d'actualisation.

[74] L'aversion pour le risque désigne les préférences d'un agent pour qui un projet risqué a une valeur moindre que l'espérance de ses bénéfices nets. L'écart entre la valeur du projet pour l'agent et l'espérance de ses bénéfices nets est la prime de risque que l'agent est disposé à payer pour ne pas être exposé au risque du projet. L'aversion collective pour le risque est ici un simple multiple de l'aversion individuelle. Cf. Arrow et Lind (1970 (90)).

lorsqu'un décideur public évalue un projet d'investissement dont le risque est d'une part dé corrélé de la croissance, et d'autre part, faible une fois ramené au nombre d'agents, il peut se permettre d'être indifférent à ce risque et ne prendre en compte, dans le calcul socioéconomique précédant sa décision, que les coûts et avantages moyens du projet (cf. Baumstark et Gollier, 2014 (91)). Les coûts et avantages sont dits mutualisables[75].

L'une des avancées importantes des dernières années dans l'évaluation des investissements publics a consisté à tenir compte de situations où l'hypothèse d'indépendance n'est pas valide et où il y a donc lieu d'exprimer une aversion collective pour le risque (cf. rapport Gollier, 2011 (56)). Le taux d'actualisation intègre alors un coefficient d'aversion pour le risque[76].

Ce cadre méthodologique n'est cependant pas entièrement satisfaisant dans le cas de l'évaluation socioéconomique du centre de stockage Cigéo. La méthode ne reflète pas la spécificité du risque d'accident nucléaire grave que peut faire courir un incendie en entreposage, qui est l'exemple-type d'un risque catastrophique, dont les coûts ne sont pas mutualisables et sont suffisamment importants pour avoir des effets systémiques.

Des travaux récents ont étudié les conditions dans lesquelles les préférences collectives peuvent marquer une aversion pour la catastrophe, c'est-à-dire pour un évènement engendrant des coûts très importants, notamment en termes de vies humaines[77], non mutualisables et susceptibles d'avoir des effets systémiques. Il ne relève pas du champ de cette évaluation socioéconomique de discuter de la portée normative de ces travaux, mais il faut cependant remarquer que de nombreuses études comportementales ont mis en évidence une forte aversion collective aux risques d'accident nucléaire (94) (95) (96) (97). Il semble dès lors justifié qu'un décideur public traite de façon particulière le risque d'accident nucléaire et qu'il considère cette aversion collective au risque.

L'évaluation socioéconomique modélise un tel accident, dans le cas du scénario KO (voir chapitre 6), en se limitant aux conséquences économiques (coût de prise en charge des réfugiés, coût de remédiation, coût d'image, coût économique direct). L'estimation ignore en revanche le coût sanitaire d'un tel accident (pertes de vies humaines, soins des blessés et des malades) qui, s'il est apparu trop incertain pour faire l'objet d'une quantification convaincante[78], aurait néanmoins de grandes chances de répondre à la définition d'une catastrophe.

Sans entrer dans la complexité des théories de l'aversion au risque catastrophique, notons que d'autres justifications peuvent être attachées à ce bénéfice assurantiel. Ce dernier peut aussi résulter d'une sensibilité plus grande aux risques de fatalité nucléaire, ou bien d'un souci éthique, ou de l'expression d'une volonté des populations. Cette valeur peut ainsi traduire un bénéfice psychologique de préférence pour une solution de gestion ne laissant pas planer de menace sur le futur.

Les paramètres correspondants, qui peuvent indifféremment être présentés comme un bénéfice assurantiel des solutions de mise en sécurité définitive ou comme un coût psychologique[79] attaché à l'entreposage *sine die*, pourraient être révélés, par exemple, par des études académiques de « disposition à payer », révélant le consentement à payer pour éviter de supporter ou de faire supporter aux générations futures un risque d'accident. De telles études n'existant pas, on peut simplement déterminer le bénéfice assurantiel pivot, celui pour lequel la hiérarchie des solutions change.

7.2.2.2 Estimation d'un bénéfice assurantiel pivot

Par simplicité dans la suite du raisonnement, l'option de projet 1, c'est-à-dire le centre de stockage Cigéo permettant la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs sera appelée l'option « sûre ». *A contrario*, l'entreposage de longue durée renouvelé, ou entreposage *sine die*, qui expose au risque

[75] Par exemple, le risque de retard de livraison d'un projet ou le risque de surcoût sont des risques mutualisables.

[76] Voir à ce sujet l'Annexe 14 de ce rapport.

[77] Cf. notamment Bommier et Zuber (2008 (92)), ainsi que la revue complète proposée par Rheinberger et Treich (2017 (93)).

[78] La modélisation des risques sanitaires aurait nécessité l'utilisation de logiciels de modélisation avancés, tenant compte notamment de l'impact des phénomènes météorologiques sur la dispersion des rayonnements ionisants.

[79] Ce coût psychologique, pourrait être qualifié en anglais de « *shadow cost* ».

d'accident et ne permet pas de gérer définitivement les déchets radioactifs, sera appelé l'option « risquée ».

Le bénéfice assurantiel pivot est donc défini comme le bénéfice supplémentaire attribué à l'option sûre qui conduirait à préférer celle-ci à l'option risquée la moins chère. La situation exposant pleinement la collectivité à un risque de catastrophe serait la variante de l'option 4 qui prévoirait, dès 2019, de s'en tenir à des dépenses d'entreposage des déchets radioactifs, sans dépense de R&D. Cette variante de l'option 4 qui, comme on l'a dit, apparaît aujourd'hui comme inacceptable du point de vue sociétal, a l'avantage comptable, par rapport aux branches 4.5 et 4.8 de l'option 4, de ne pas être « alourdie » par des dépenses de R&D jusqu'en 2070.

Si la collectivité valorise son aversion pour le risque, ou son souhait de ne pas laisser la charge des déchets radioactifs aux générations futures, à au moins l'écart entre l'option de projet 1 et la variante de l'option 4, alors c'est l'option de projet 1 qui est choisie, et non la variante de l'option 4 qui est moins onéreuse. Ce différentiel permet d'estimer le bénéfice assurantiel pivot. Dit autrement, il s'agit de la prime additionnelle qu'il est nécessaire de verser pour faire basculer la préférence d'une option risquée (variante de l'option 4) vers une option sûre, comportant une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs (option de projet 1 et certaines branches de l'option 4), quand bien même cette dernière apparaîtrait, en première analyse, plus coûteuse.

D'une certaine façon, le choix en 2006 de prendre le chemin de la réalisation du centre de stockage Cigéo, plutôt que de poursuivre continuellement l'entreposage des déchets radioactifs, semble indiquer que le décideur public de l'époque a attribué à la solution de mise en sécurité définitive un tel bénéfice assurantiel.

Dans ce raisonnement, les valeurs de l'option de projet 1 et de la variante de l'option 4 sont déterminées en termes d'espérance, c'est-à-dire qu'elles correspondent à la somme des valeurs en scénario OK et en scénario KO pondérées par les probabilités de ces *scenarii*. Ne disposant pas de méthode pour estimer de façon raisonnablement fiable la probabilité des *scenarii*, nous ne pouvons que simuler, à titre indicatif, la valeur du bénéfice assurantiel pivot de l'option de projet 1 pour différentes probabilités de survenue du scénario KO.

Le tableau ci-dessous présente ainsi, pour chacun des trois profils de taux d'actualisation, les coûts de l'option de projet 1 et de la variante de l'option 4, dans les *scenarii* OK et KO, ainsi que l'écart entre l'espérance de leurs coûts (c'est-à-dire le bénéfice assurantiel pivot de l'option de projet 1), si l'on attribue au scénario KO, à titre d'illustration, une probabilité d'occurrence de 0 ; de 0,1 ; de 0,25 ou de 1.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

Tableau 7.2-1 *Estimation du bénéfice assurantiel du centre de stockage Cigéo, en fonction de la probabilité de tomber dans un scénario KO*

Taux d'actualisation	OK		KO		Bénéfice assurantiel de l'option de projet 1			
	Option de projet 1	Variante de l'option 4 (ELD sans R&D)	Option de projet 1	Variante de l'option 4 (ELD sans R&D)	Probabilité (KO)=0	Probabilité (KO)= 0,1	Probabilité (KO)= 0,25	Probabilité (KO)=1
Taux d'actualisation bas	14 482 M€	8 448 M€	22 835 M€	58 310 M€	6 034 M€	1 882 M€	-4 344 M€	-35 475 M€
Taux d'actualisation intermédiaire	12 544 M€	4 026 M€	16 741 M€	14 221 M€	8 518 M€	7 918 M€	7 019 M€	2 520 M€
Taux d'actualisation haut	9 836 M€	2 303 M€	11 646 M€	4 473 M€	7 532 M€	7 496 M€	7 442 M€	7 172 M€

ELD : entreposage de longue durée renouvelé

Ce tableau fait apparaître dans les colonnes n° 2 à 5, les coûts globaux actualisés de l'option de projet 1 et de la variante de l'option 4 (entreposage de longue durée renouvelé, décidé dès 2019 et sans R&D) selon le taux d'actualisation et le scénario considérés.

Les valeurs des colonnes n° 6 à 9 s'interprètent comme le bénéfice assurantiel à mettre au crédit de l'option de projet 1 en fonction de la probabilité de survenue d'un scénario KO.

Ainsi, la colonne n° 6 représente l'écart de coûts entre ces deux options en scénario OK, lorsque la probabilité de survenue du scénario KO est nulle. De l'autre côté du spectre, la dernière colonne (colonne n° 9) représente l'écart de coûts entre ces deux options en scénario KO, c'est-à-dire le bénéfice assurantiel de l'option de projet 1 si la probabilité de survenue du scénario KO est égale à 1. Entre les deux, les colonnes n° 7 et 8, mesurent le bénéfice assurantiel du projet Cigéo, pour un décideur public qui estimerait que le scénario KO à 10 % ou 25 % de chances de se produire.

On observe que le bénéfice assurantiel pivot du centre de stockage Cigéo varie fortement en fonction de la probabilité attribuée au scénario KO lorsque le taux d'actualisation bas est retenu. La valeur négative dans les colonnes n° 8 et 9 indique que, pour un taux d'actualisation bas et une probabilité élevée de survenue du scénario KO, l'option de projet 1 présente des coûts espérés inférieurs à ceux de l'entreposage de longue durée sans R&D, de sorte que, en choisissant ce dernier, le décideur public révèlerait une préférence singulière pour les solutions les plus risquées. Avec ce taux d'actualisation bas, le bénéfice assurantiel pivot de Cigéo s'annule dès que la probabilité du scénario KO dépasse 14,4 %.

Ainsi, pour un taux d'actualisation bas, plus l'espérance de pertes liées à un accident est élevée, moins elle rend nécessaire le versement d'une prime additionnelle pour que l'option sûre (l'option de projet 1) soit préférée à l'option risquée.

Pour le taux d'actualisation intermédiaire, le versement d'une prime additionnelle est nécessaire et celle-ci décroît en fonction de l'augmentation de la probabilité de survenue du scénario KO. *A contrario*, pour le taux d'actualisation haut, la prime additionnelle est pratiquement constante, quelle que soit la probabilité de survenue du scénario KO. Son montant est légèrement inférieur au prime maximum observé dans le cas du taux d'actualisation intermédiaire.

Au global, le bénéfice assurantiel pivot de Cigéo varie, en fonction du taux d'actualisation, entre 1,9 et 7,9 milliards d'euros si la probabilité de survenue du scénario KO est de 10 %, et entre -4,3 et 7,4 milliards d'euros si elle est de 25 %. Rapporté à la population française, un bénéfice assurantiel pivot de 7,9 milliards d'euros représente une somme de 118 euros par habitant, avec un taux d'actualisation intermédiaire et une probabilité de survenue du scénario KO de 10 % : il s'agit donc ce que chaque Français, devrait être disposé à payer (en un seul versement) pour se prémunir dès 2019 contre le risque d'accident grave qui caractérise l'entreposage de longue durée sans recherche en cas de dérive sociale et répondre à une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs. Rappelons qu'il n'existe pas d'étude de disposition à payer pour se prémunir de ce risque. Les valeurs estimées ne sont représentatives que d'un pivot défini comme le bénéfice supplémentaire attribué à l'option sûre qui conduirait à préférer celle-ci à l'option risquée la moins chère. Une disposition à payer supérieure à 118 euros (pour une probabilité de survenue du scénario KO de 10 %) conduit alors le choix vers la réalisation du centre de stockage Cigéo.

Concernant le choix législatif réalisé en 2006 de mise en sécurité définitive par la voie du stockage géologique profond, on en déduit rétroactivement que le décideur public de l'époque intégrait une disposition à payer suffisante pour se prémunir du risque.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

Dès lors que ce raisonnement assurantiel est introduit pour rendre comparables une option sûre et une option risquée, il convient de répliquer ce raisonnement au sein de l'option qui mêle des branches sûres et des branches risquées (comme c'est le cas de l'option 4). Dans l'option 4, la plupart des branches conduit à une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, soit *via* une technologie de stockage en couche géologique profonde, soit *via* une technologie prospective, décidée en 2070 ou au plus tard en 2100. Cependant, les branches 4.5 et 4.8 conduisent à de l'entreposage de longue durée renouvelé, soit uniquement pour les déchets MA-VL, soit pour les HA et les MA-VL. Or, comme mis en évidence dans le chapitre 7.2.1, au sein de l'option 4, c'est la branche 4.8 qui est la plupart du temps la moins onéreuse ; *a priori* c'est donc celle-ci qui serait choisie par un décideur public qui arbitre en fonction des coûts, et ce même si une solution de mise en sécurité définitive est maintenue ou trouvée.

Par exemple, la branche 4.1. (a, b, c, d) modélise la situation où la R&D est fructueuse et le site Meuse/Haute-Marne est conservé. Tout est donc possible pour gérer de façon définitive les déchets radioactifs. Dans le scénario OK, avec un taux d'actualisation haut, le coût de stockage des déchets HA et MA-VL dans Cigéo (branche 4.1.a) décidé en 2070 après 50 années de R&D s'élève à 9,9 milliards d'euros. Pourtant, même si cette branche 4.1.a est disponible, le décideur public qui arbitre seulement en fonction des coûts va choisir la branche 4.8, c'est-à-dire de l'entreposage de longue durée renouvelé, car d'une part cette branche est également « disponible » et d'autre part son coût est moindre (9 milliards d'euros) – cf. chapitre 5.5.2.1 du présent document.

Cette conclusion n'est plus exacte si le décideur public intègre une valeur assurantielle suffisamment élevée, valorisant les solutions dites « sûres » par rapport aux solutions dites « risquées ». Auquel cas, il convient, au sein de l'option 4, d'introduire le raisonnement assurantiel pivot, à chaque fois qu'une branche sûre est en concurrence avec une branche risquée.

Les valeurs pivot du bénéfice assurantiel en chacun des points de décision de l'option 4 dépendent, comme dans le calcul du tableau 7.2-1, des coûts espérés des solutions alternatives, en fonction de la probabilité attribuée à la survenue du scénario KO, à ces dates. Le calcul, détaillé dans l'annexe 20, montre que la valeur des bénéfices assurantiels pivot propres à l'option 4, conduisant à préférer les branches sûres en 2070 ou 2100 serait du même ordre (et le plus souvent inférieure) à la valeur pivot calculée précédemment (différentiel entre l'option de projet 1 et la variante de l'option 4) et ce quels que soient la probabilité du scénario KO et le taux d'actualisation retenus.

Un décideur public qui s'engagerait à présent dans l'option 4, doit tabler sur une disposition à payer pour une solution sûre de l'ordre de 8 milliards en 2070 ou en 2100, pour que si une branche sûre est disponible, celle-ci soit effectivement choisie en lieu et place de l'entreposage *sine die*.

Par ailleurs, si le décideur actuel estime qu'une telle disposition à payer est et sera accordée aux solutions sûres, alors **non seulement les branches sûres de l'option 4 sont plus favorables que les branches risquées, mais en plus l'option de projet 1 devient moins onéreuse que l'option 4, et ce quel que soit le taux d'actualisation retenu et pour toutes les probabilités de survenue du scénario KO.**

Dès lors que cette disposition à payer est effectivement supérieure à la valeur assurantielle pivot, le choix de réaliser le centre de stockage Cigéo est le choix le plus favorable, quelles que soient les configurations du modèle.

Si au contraire, la disposition à payer est inférieure à la valeur assurantielle pivot, alors le centre de stockage Cigéo est la décision la plus favorable dans 4 cas sur 6, c'est-à-dire en scénario KO, quel que soit le taux d'actualisation, ou en scénario OK, avec un taux d'actualisation bas.

7.2.3 Synthèse des résultats de l'évaluation socioéconomique et de sa mise en perspective

L'approche quantitative de cette évaluation socioéconomique prend en compte les coûts de mise en place des options et les coûts liés à un éventuel accident en entreposage. Elle parvient à mettre en évidence la supériorité du centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi (option de projet 1) dans diverses configurations, répondant ainsi à un certain nombre de questions sociétales :

- L'évaluation socioéconomique montre que l'option 1 est préférable aux options 2 et 3, modélisant la poursuite d'investissements dans de la R&D en vue de trouver une technologie prospective alternative au stockage géologique profond, combinés à la construction initiale et la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo, visant à s'assurer que cette technologie et le site afférent soient toujours disponibles au cas où la R&D ne serait pas fructueuse. Les résultats des options 2 et 3 sont inférieurs à ceux de l'option de projet 1, quels que soient le scénario et le taux d'actualisation considérés.
- L'évaluation socioéconomique montre également que face à la survenue d'une dégradation du contexte sociétal, modélisée par le scénario KO, l'option de projet 1 est meilleure que les options 2, 3 et 4, et ce, quel que soit le taux d'actualisation.
- Enfin, l'évaluation socioéconomique met en évidence que la préoccupation forte pour les générations futures, modélisée *via* le taux d'actualisation bas conduit également à rendre l'option de projet 1 meilleure que les options 2, 3 et 4, et ce, quel que soit le scénario.

En revanche, l'approche quantitative de cette évaluation socioéconomique montre aussi que l'option 4, dont certaines branches conduisent à de l'entreposage de longue durée renouvelé, apparait, quant à elle, moins onéreuse que l'option de projet 1 dans le contexte particulier d'un scénario OK avec un taux d'actualisation haut ou intermédiaire.

En complément, **l'approche qualitative** de la modélisation indique que l'option de projet 1 (centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi) est tout le temps plus favorable si le décideur public estime qu'il existe un bénéfice assurantiel suffisant attaché aux solutions de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs. Ce bénéfice assurantiel constitue, en miroir, un coût supplémentaire attaché à l'entreposage de longue durée renouvelé. Dit autrement, mettre définitivement les déchets radioactifs en sécurité peut être vu comme une assurance en cas de survenue d'un scénario KO, ou encore comme un allègement psychologique lié au fait de ne pas laisser aux générations futures le poids de la gestion des déchets radioactifs et enfin, de ne pas leur transférer de risque accidentel.

Un bénéfice assurantiel pivot, non modélisé directement, a été déduit en estimant une prime additionnelle pivot à mettre au crédit de l'option jugée sûre (option de projet 1 et certaines branches de l'option 4), permettant à l'option sûre d'être plus favorable. Si le décideur public actuel, estime que les sociétés du futur auront, comme hier et aujourd'hui, une préférence pour les solutions de gestion définitive ou une aversion pour le risque, alors il convient d'affecter une prime assurantielle aux branches et options permettant la mise en sécurité définitive. Si la valeur que représente cette assurance est au moins égale au bénéfice assurantiel pivot, alors l'option de projet 1 est effectivement préférable dans tous les cas de figure (quel que soit le taux d'actualisation retenu et quelle que soit la probabilité de tomber dans un scénario KO).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Résultats de l'évaluation socioéconomique, mise en perspective et recommandations

L'ensemble de ces conclusions, ici très résumées, doit être manié avec les précautions qui s'imposent, compte tenu des hypothèses posées tout au long de l'évaluation socioéconomique.

» EN D'AUTRES TERMES :

- Cela revient à considérer que dans une société persuadée de sa stabilité perpétuelle (c'est-à-dire persuadée de la permanence d'un scénario OK), et priorisant l'intérêt de ses contemporains (c'est-à-dire écartant un taux d'actualisation faible) et qui, enfin, arbitre principalement en fonction des coûts (c'est-à-dire qui n'attribue pas de valeur suffisante au bénéfice assurantiel d'une solution de mise en sécurité définitive), le choix rationnel, mis en évidence par le calcul socioéconomique, consiste à renouveler continuellement l'entreposage des déchets radioactifs, transformant de facto une solution aujourd'hui considérée comme temporaire en une solution de long terme.
- *A contrario*, dès lors que l'éventualité d'une défaillance sociétale à long terme est considérée (c'est-à-dire que la survenue d'un scénario KO est prise en compte), ou que l'intérêt porté aux générations futures est suffisamment élevé (c'est-à-dire qu'un taux d'actualisation bas est retenu), ou que, à défaut, une valeur suffisante est accordée au bénéfice assurantiel lié à la mise en sécurité définitive, alors l'option de projet 1 de réalisation du centre de stockage Cigéo constitue la solution préconisée par la présente évaluation socioéconomique.

7.3 Observations finales et recommandations sur l'évaluation socioéconomique appliquée à la gestion des déchets radioactifs

Au terme de la présentation des résultats, il importe de souligner à nouveau que l'évaluation socioéconomique aussi complète d'un projet de gestion des déchets radioactifs est une première du genre. Elle est en ce sens exploratoire et invite, notamment, à la poursuite de nombreux travaux académiques en économie.

Des repères préalables ont été posés, au chapitre 1 (section 1.4), concernant les différents types d'incertitudes relatives à la présente évaluation socioéconomique. Au-delà de ces observations, d'autres points méritent d'être discutés.

- Tout d'abord, certains résultats de l'évaluation peuvent être sous-estimés pour les raisons suivantes :
  - ✓ Les tirages portant sur les coûts des différentes options de projet ont été effectués sur des distributions de risque identiques ; en d'autres termes, nous supposons que si le coût du génie civil, par exemple, augmente dans l'option de projet 1, il augmente également en option de projet 4, et ce, quelle que soit l'année. Cette hypothèse a tendance à réduire la plage de chevauchement des résultats des options 1 et 4.
  - ✓ Tel que développé dans l'encadré figurant dans l'annexe 14 au chapitre 14.2, certaines hypothèses simplificatrices ont été prises sur l'estimation du taux d'actualisation. Notamment un terme correcteur, qui aurait tendance à réduire le taux d'actualisation, aurait pu être introduit et ne l'a pas été, par soucis de simplification. Cela aurait réduit les avantages de l'option 4 et notamment des branches de l'entreposage de longue durée renouvelé.
  - ✓ Les dépenses de R&D ont été considérées constantes : c'est une hypothèse simplificatrice, car ces efforts de R&D sont corrélés à certaines variables et pourraient évoluer dans le temps en fonction du contexte.
  - ✓ Le coût de densification des déchets MA-VL ne tient pas compte des différentes spécificités de ces déchets.
  - ✓ La probabilité d'accident en scénario OK a été considérée comme négligeable au vu des autres ordres de grandeur en jeu. En réalité, cette probabilité est très faible compte tenu du respect de la démarche de sûreté.
  - ✓ L'accident a été envisagé et modélisé en scénario KO et uniquement pour les déchets MA-VL ; par rapport à une situation accidentelle concernant les déchets HA, il s'agit d'une sous-estimation.
  - ✓ Le coût sanitaire d'un accident lié à la gestion des déchets radioactifs n'a pas été pris en compte, faute d'estimations suffisamment robustes mobilisables dans le temps imparti pour la production de cette évaluation socioéconomique.
- A l'inverse, la problématique du coût du projet Cigéo constitue un sujet d'attention spécifique :
  - ✓ En effet, il est courant que les très grands projets voient leurs coûts s'écarter sensiblement des premières estimations. Le coût utilisé dans les calculs correspond au coût de 25 milliards d'euros défini dans l'arrêté du 15 janvier 2016, par la Ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Sans valorisation des risques et des opportunités, des estimations préalables avançaient une fourchette de coût brut entre 20 et 35 milliards d'euros.
  - ✓ Néanmoins, les estimations de coûts de l'évaluation socioéconomique ne sauraient se substituer aux mises à jour réglementaires définies dans l'article 2 de l'arrêté du 15 janvier 2016 : « *Le coût fixé à l'article 1er est mis à jour régulièrement et a minima aux étapes clés du développement du projet (autorisation de création, mise en service, fin de la « phase industrielle pilote », réexamens de sûreté), conformément à l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire.* »

  - ✓ Dès lors, ce risque sur les montants est pris en compte par la méthode probabiliste des simulations de Monte-Carlo proposée par la présente évaluation socioéconomique, qui permet de définir des distributions de coûts afin de traduire des incertitudes sur ces montants, dans l'attente des mises à jour réglementaires précitées.
  - ✓ On notera que l'approche concernant les coûts est conservatrice, car le niveau de maturité du projet global Cigéo et des évaluations de coûts associés sont bien supérieurs au niveau de maturité des alternatives pour lesquelles les risques de surcoûts sont beaucoup plus importants.
  - ✓ Par ailleurs, il est considéré que les différentes options présentées ci-avant ne sont mises en œuvre que si leur sûreté est validée (ce qui est du ressort des autorités compétentes). Le bénéfice du centre de stockage Cigéo apparaît au travers de son caractère passif après fermeture avec une sûreté maintenue quel que soit le scénario d'évolution de la société (y compris dans le scénario KO).
  - ✓ L'estimation du bénéfice du centre de stockage Cigéo, qui permet de prémunir la société des conséquences d'un éventuel accident en entreposage après la fermeture, repose sur l'analyse que ce projet ne fait pas courir d'autres risques majeurs. Cette analyse se fonde sur les dossiers d'options de sûreté qu'il ne nous appartient pas de questionner, car cette compétence est hors du champ de l'économiste et que ces dossiers d'options de sûreté sont approuvés par les autorités compétentes.
- Enfin, soulignons également que certaines des options, imaginées dans le cadre d'une comparaison avec l'option de projet 1 de réalisation du centre de stockage Cigéo, peuvent être délicates à envisager, dès lors qu'elles diffèrent des décisions législatives construites au fur et à mesure des avancées des programmes de recherche. La définition d'options autres que le centre de stockage Cigéo ne préjuge donc pas de la possibilité de les mettre en œuvre.

Au-delà des solutions qui ont été apportées, en toute transparence, dans le cadre de la présente évaluation, des voies de développements additionnels semblent intéressantes à signaler, afin de susciter des efforts de recherche académique :

- La modélisation quantitative du scénario KO est inédite et mériterait d'être approfondie par d'autres experts. La modélisation proposée se base sur des hypothèses quantifiées issues d'une littérature plutôt qualitative ; une avancée procèderait également (via des méthodes de programmation dynamique) à modéliser l'alternance de périodes de stabilité et d'instabilité, plus conforme à l'histoire qu'une différentiation de ces états en deux *scenarii*.
- La modélisation des risques a été faite schématiquement, sans considération d'interdépendance et sans disposer de banques de données du secteur du nucléaire. Il y aurait un intérêt à constituer une telle banque de données pour des raffinements ultérieurs.
- Une discussion sur le taux d'actualisation a été introduite et prise en compte à toutes les étapes de cette étude. Elle a mis en évidence le besoin de repères méthodologiques qui vont au-delà des horizons temporels habituellement considérés. Bien que la valeur de référence du taux d'actualisation socioéconomique soit régulièrement réinterrogée par les experts de ce sujet, elle ne l'est jamais à cet horizon (ni en France, ni à l'international), dans la mesure où les projets usuellement considérés n'impliquent pas des projections aussi lointaines.
- Un bénéfice assurantiel pivot a été déduit. Il nécessiterait d'être confronté avec une disposition à payer pour se prémunir contre le risque de catastrophe collective, un champ d'investigation et de recherche reste à ouvrir sur ce thème, à la frontière entre économie normative et économie comportementale.

L'évaluation socioéconomique du centre de stockage Cigéo invite donc instamment à ouvrir des pistes d'approfondissements supplémentaires dans tous ces domaines.

ANNEXES

Annexe 1 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Allemagne

1.1 Contexte national

En 2018, l'Allemagne comptait près de 83 millions d'habitants avec un PIB d'environ 3 300 milliards d'euros.

1.1.1 Politique énergétique

Depuis le début des années 2000, l'Allemagne s'est engagée dans une politique de sortie du nucléaire qui s'est accentuée à la suite de l'accident de Fukushima Daiichi en 2011. Dès lors, 7 des plus anciens réacteurs électronucléaires ont été arrêtés et la décision a été prise de fermer progressivement l'ensemble des derniers réacteurs d'ici 2022. Avant 2011, l'Allemagne détenant 17 réacteurs en activité et produisait environ 25 % de son électricité *via* l'atome. Aujourd'hui, 7 réacteurs restent en activité, ramenant la part du nucléaire dans le mix énergétique à environ 12 %.

» NOTE IMPORTANTE

À partir de 2005, l'Allemagne a interdit tout retraitement du combustible usé (auparavant réalisé dans les installations de La Hague en France et de Sellafield au Royaume-Uni). Les derniers déchets vitrifiés de haute activité issus de cette pratique doivent être retournés en Allemagne d'ici 2022.

1.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

En 2016, l'Allemagne a adopté une loi visant à réorganiser la gestion des déchets radioactifs qui précise la responsabilité des différents acteurs dans ce domaine (98) (99).

L'office fédéral en charge de la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, le **Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit** (BfE), a été établi en 2014. Il s'agit de l'autorité compétente qui élabore la réglementation et en contrôle l'application pour les installations de stockage et le transport des déchets radioactifs. Le BfE évalue le processus de sélection d'un site qui abritera l'installation de stockage géologique des déchets de haute activité (ou déchets exothermiques) et des combustibles usés ainsi que la participation du public au processus (la décision finale sera prise par le Parlement fédéral).

La compagnie fédérale pour le stockage des déchets radioactifs, la **Bundesgesellschaft für Endlagerung** (BGE), a été créé en 2017 et met en œuvre la politique du gouvernement fédéral en matière de stockage géologique des déchets radioactifs et du combustible irradié. Le champ de responsabilité de la BGE couvre :

- les installations de stockage existante et les projets de stockage pour les déchets de faible et de moyenne activité (ou déchets non ou très faiblement exothermique) ;
- la mise en place du processus de sélection d'un site pour abriter l'installation de stockage géologique des déchets de haute activité (ou déchets exothermiques) et des combustibles usés ;
- la conception, la construction et le fonctionnement de l'installation de stockage géologique des déchets de haute activité (ou déchets exothermiques) et des combustibles usés.

La **Gesellschaft für Zwischenlagerung** (BGZ) est une organisation gouvernementale nouvellement créée qui assurera en totalité à compter de 2020 et en remplacement de GNS (Gesellschaft für Nuklear-Service mbH) la gestion des installations d'entreposage des déchets radioactifs.

La Commission sur la gestion des déchets nucléaires (ESK) conseille le Ministère fédéral en charge de l'environnement (BMU) sur les questions techniques relatives à la gestion des déchets nucléaires.

1.2 Sources, types et quantités de déchets

Pour l'ensemble de ses déchets radioactifs, l'Allemagne a fait le choix d'opter pour une seule solution de stockage à savoir le stockage géologique. Pour cela, la totalité des déchets radioactifs ont été classés en deux catégories, sans tenir compte de la période radioactive. Ces deux catégories sont :

- les déchets à pouvoir exothermique négligeable (équivalents des déchets de faible et moyenne activité) ;
- les déchets à haut pouvoir exothermique (équivalents des déchets de haute activité ainsi que d'une partie des déchets de moyenne activité).

Les déchets radioactifs dits exothermiques comprennent des concentrés de produits de fission, des coques et embouts ainsi que les crayons combustibles eux-mêmes lorsqu'ils ne sont pas stockés directement avec les déchets radioactifs.

Les quantités de déchets radioactifs conditionnés (prêts à être entreposés et/ou stockés) ont été calculées jusqu'en 2080 sur la base d'enquêtes réalisées dans le cadre de la planification des opérations de stockage. Ces prévisions calculées jusqu'à la fin de 2080 donnent les volumes suivants : 300 000 m³ de déchets radioactifs conditionnés à pouvoir exothermique négligeable (déchets FMA) et 28 000 m³ de déchets conditionnés à haut pouvoir exothermique (déchets HA). Ces chiffres se fondent sur une durée de vie moyenne des réacteurs évaluée à 32 années.

1.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

1.3.1 Solutions de gestion actuelle

La loi de sortie du nucléaire a imposé aux exploitants de prévoir des installations d'entreposage des déchets radioactifs et des combustibles usés à proximité des centrales nucléaires. Jusqu'en 2017, les exploitants des centrales, des réacteurs de recherche et des installations du cycle du combustible étaient responsables de l'entreposage du combustible usé et du conditionnement et de l'entreposage de tous les déchets jusqu'à leur stockage final. Une filiale commune aux exploitants, GNS (Gesellschaft für Nuklear-Service), a réalisé pendant près d'une vingtaine d'années l'entreposage des déchets dans les installations des centres d'Ahaus et de Gorleben. Actuellement, les déchets produits sont principalement entreposés sur ou à proximité des centrales nucléaires. Pour les déchets de faible et moyenne activité non exothermique, les installations de stockage suivantes sont gérées par le BGE :

- **Konrad** : une ancienne mine de fer qui est convertie depuis 2007 en installation de stockage. Les premiers colis y seront stockés au plus tôt en 2027 ;
- **Asse :** une ancienne mine de sel où les déchets stockés doivent être à présent retirés en raison d'un défaut de sûreté ;
- **Morsleben** : une ancienne installation de stockage dans une mine de sel.

De son côté, la BGZ a repris depuis 2017 le fonctionnement des installations d'entreposage à sec centralisées à Ahaus et Gorleben et dédiées au stockage du combustible usé et des déchets de haute activité. Depuis début 2019, le BGZ gère également les 12 installations d'entreposage à sec de combustibles usés et de déchets de haute activité localisées sur les sites de centrales nucléaires.

1.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

Depuis 1979, des recherches pour un stockage géologique des déchets exothermiques et des combustibles usés ont été réalisées à Gorleben, au niveau d'un dôme de sel. Jusqu'en 2012, la construction d'une installation de stockage était planifiée sur ce site. En 2012, il a été décidé de débuter un nouveau processus de sélection d'un site après l'interruption de toute exploration dans le dôme de sel de Gorleben, le choix d'une roche hôte de type saline étant fortement remis en cause, ainsi qu'une

très forte opposition locale. Si Gorleben reste une option, d'autres sites potentiels sont considérés et la nature de la roche hôte (sel, argile ou granite) n'a pas encore été déterminée, tout comme les modalités de conditionnement des déchets. La loi StandAG de 2013 mise à jour en 2017 (100) porte sur le processus de sélection d'un site (sous l'égide de BGE et de BfE) pour le stockage géologique des déchets exothermiques et du combustible usé. Parmi les critères de sélection on relève les éléments suivants :

- la localisation la plus sûre doit être utilisée ;
- le stockage doit être sûr pour au moins 1 million d'années ;
- la participation du public est obligatoire ;
- le retrait des colis doit être possible pendant 500 ans ;
- la réversibilité des décisions doit être possible ;
- le processus de sélection d'un site doit comporter plusieurs étapes :
  - ✓ sélection des régions d'accueil ;
  - ✓ exploration de surface ;
  - ✓ exploration souterraine ;
  - ✓ proposition d'un site et décision (d'ici à 2031).

À ce jour, bien que le site ne soit pas encore trouvé, le fonctionnement du stockage géologique est prévu pour débuter aux alentours de 2050.

1.3.3 Alternatives envisagées

Un article publié en 2017 dans la revue Geosciences (101) porte sur l'analyse du stockage des déchets exothermique (HA) en utilisant la technique de forage profond en Allemagne. Le document précise que la Commission sur la gestion des déchets nucléaires allemande (ESK) a demandé la réalisation d'une étude portant sur cette technologie qui est présentée comme l'unique solution de stockage alternative méritant d'être évaluée : « *Disposal in geological formations using mining technology with retrievability and recoverability is favoured. It is also noted that disposal using boreholes in geological formations is the only realistic alternative option over transmutation or long-term interim storage* ». L'option de forage profond présenterait potentiellement plusieurs avantages : sûreté renforcée notamment sur le long terme, fonctionnement *a priori* simplifié et raccourci de l'installation de stockage, possible réduction des coûts de stockage. L'article précise que des travaux de R&D sont nécessaires pour réaliser des forages d'un diamètre de 0,75 mètres à 3 500 mètres de profondeur, mais que les experts sont confiants sur ce point. La possibilité de récupérer des colis sur 500 ans, si ce critère est maintenu dans le processus de sélection, doit également faire l'objet de recherche.

1.4 Modalités de financement

Lors de la publication de la loi StandAG en 2013 (100), le Ministère fédéral de l'Environnement (BMU) annonça que les exploitants devraient financer à hauteur de 2 milliards d'euros la recherche d'un nouveau site pour le stockage des déchets exothermiques, soit la somme qu'ils avaient déjà investie dans le site de Gorleben (1,6 milliards d'euros). Le site accueillera 10 500 tonnes de combustibles usés, 300 colis de déchets issus du retraitement du combustible usé et 500 colis de combustibles usés utilisés à des fins de recherche.

En décembre 2016, le Parlement allemand vota une résolution portant sur la création d'un fonds de 23,6 milliards d'euros géré par l'État pour le financement de l'entreposage et du stockage de l'ensemble du combustible usé et des déchets nucléaires allemands. Les quatre exploitants de centrales nucléaires ont entièrement financé le fonds : 16,7 milliards d'euros pour RWE et EON ; 1,75 milliards d'euros pour Vattenfall et 4,7 milliards d'euros pour EnBW. Le fonds aurait été abondé à hauteur de 24,7 milliards d'euros (août 2017). Les fonds doivent croître à 100 milliards d'euros d'ici 2100.

Annexe 2 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Belgique

2.1 Contexte national

En 2018, la Belgique comptait 11 millions d'habitants avec un PIB d'environ 460 milliards d'euros.

2.1.1 Politique énergétique

C'est en 1974 que la Belgique se lance dans l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité. À ce jour, la Belgique dispose de 7 réacteurs nucléaires installés sur deux sites, Tihange et Doel, et qui fournissent environ 50 % de l'électricité produite dans le pays. En 2003, une loi de sortie progressive de l'énergie nucléaire prévoit une durée de fonctionnement des centrales belges de 40 ans environ. En 2012, le gouvernement a cependant décidé de prolonger le fonctionnement des centrales de 10 années supplémentaires, soit, jusqu'en 2025 environ.

» NOTE IMPORTANTE

Le retraitement du combustible usé a été réalisé sur le site de la Hague jusqu'au début des années 2000. L'ensemble des déchets vitrifiés issus du retraitement sont retournés en Belgique depuis 2007.

2.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

En Belgique, les acteurs de la gestion des déchets radioactifs se répartissent comme suit (102) (103) :

- **L'autorité de sûreté nucléaire**, portant le nom d'**Agence fédérale de contrôle nucléaire** (AFCN), a été créée en 1994. Sous la tutelle du Ministère de l'Intérieur, l'AFCN a pour mission de veiller à la protection de la population et de l'environnement vis-à-vis des rayonnements ionisants. Cette autorité assure la réglementation nucléaire et instruit les dossiers de demande d'autorisation soumis par les installations nucléaires. À noter que l'AFCN possède un conseil scientifique indépendant, nommé par le Gouvernement, qui fournit un avis préalable aux autorisations de création ou de renouvellement des installations nucléaires. Depuis 2008, la filiale de l'AFCN, **Bel V**, regroupe l'ensemble des activités réglementaires et s'occupe donc des activités de contrôles dans les installations nucléaires.
- **Le gestionnaire, Ondraf-Niras** (Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles), est une entreprise publique créée en 1980 et placée sous la tutelle des ministères de l'Énergie et de l'Économie. L'Ondraf est en charge de la gestion de tous les déchets radioactifs présents sur le territoire belge, allant de leur transport, traitement, conditionnement et entreposage à la recherche de solutions de stockage à long terme. En pratique, c'est **Belgoprocess**, filiale de l'Ondraf, qui se charge du traitement et du conditionnement des déchets radioactifs issus des centrales nucléaires, du secteur industriel, des activités médicales ou de recherche. Belgoprocess exploite deux centres d'entreposages temporaires situés sur les communes de Dessel et Mol où elle stocke les déchets conditionnés dont elle est en charge.
- **L'organisme de recherche : Centre d'études nucléaires** (SCK-CEN) est un organisme d'utilité public placé sous la tutelle du ministère de l'Énergie. Parmi ses missions, SCK-CEN mène notamment des activités de R&D dédiées à la gestion des déchets radioactifs, en collaboration avec l'Ondraf. SCK-CEN dispose à ce titre du laboratoire souterrain Hades (High activity disposal experimental site), situé à Mol, à 225 mètres de profondeur dans l'argile de Boom. Le groupement d'intérêt économique **Euridice**, fondé en 1995 par SCK-CEN et l'Ondraf, assure la gestion et le fonctionnement du laboratoire souterrain Hades.
- **L'électricien Electrabel SA** exploite l'ensemble des 7 réacteurs présents sur le territoire belge. La société Synatom, filiale d'Electrabel SA, a pour mission d'approvisionner les centrales belges en uranium enrichi et de gérer les combustibles nucléaires usés issus des réacteurs, jusqu'à leur prise en charge définitive par l'Ondraf. À ce titre, **Synatom** gère le conditionnement et l'entreposage des combustibles usés.

En Belgique, la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs relève de l'autorité fédérale. Elle s'inscrit dans un cadre réglementaire formé de divers lois, arrêtés royaux et décisions parlementaires ou ministérielles. Ainsi, la loi du 8 août 1980 crée l'Ondraf-Niras et en définit ses missions (104). La loi du 13 février 2006 (105) précise à l'Ondraf qu'avant de soumettre son plan de gestion à long terme des déchets radioactifs, elle devra désormais préparer une étude environnementale stratégique (SEA) ainsi qu'un projet de Plan déchet et d'en recueillir l'avis de l'AFCN. Plus récemment, la loi du 3 juin 2014 (106) transpose en droit belge la directive 2011/70/Euratom et met ainsi à jour les dispositions d'une gestion sûre et responsable du combustible usé et des déchets radioactifs. Ce décret royal énonce également les principes directeurs sur les modalités de financement de la gestion à long terme des déchets radioactifs et fait ainsi évoluer la loi du 11 avril 2003 (107) dressant les premiers principes de provisions à constituer pour la gestion des matières fissiles.

2.2 Sources, types et quantités de déchets

En Belgique, les déchets radioactifs proviennent à 80 % du secteur électronucléaire, et dans une moindre mesure, de l'industrie, des activités de recherche ainsi que du secteur médical. L'ensemble de ces déchets est classé selon la catégorisation suivante :

- les déchets de type A, à savoir, les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (demi vie inférieure ou égale à 30 ans). Ce type de déchets peut également contenir, dans de faibles quantités (400 Bq/g à 4 000 Bq/g), des radionucléides à vie longue ;
- les déchets de type B comprenant les déchets de faible et moyenne activité à vie longue ;
- les déchets de type C, constitués de déchets de haute activité ayant une capacité thermique élevée (> 20 W/m³). Il s'agit du combustible usé non retraité des centrales nucléaires ou bien encore des déchets vitrifiés issus du retraitement effectué à La Hague.

» NOTE IMPORTANTE

À l'heure actuelle, on estime que l'activité nucléaire en Belgique va produire sur 100 ans environ :

- 70 000 m³ de déchets de type A (FMA-VC) ;
- 11 000 m³ de déchets de type B (FMA-VL) ;
- environ 4 500 m³ de déchets de type C (HA/MA-VL).

2.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

2.3.1 Solutions de gestion actuelle

De 1949 à 1983, la Belgique a participé à des campagnes d'immersion des déchets radioactifs dans l'océan Atlantique, coordonnées pour la plupart par l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE. Suite à l'entrée en vigueur de la Convention de Londres (108), cette pratique a cependant été interrompue. À l'heure actuelle, il n'existe pas en Belgique de solution de stockage définitif, quel que soit le type de déchets. Les déchets radioactifs sont donc entreposés sur les sites des centrales nucléaires, à Doel et Tihange, ainsi qu'au sein des stockages temporaires (de surface) exploités par Belgoprocess à Mol et Dessel, après avoir été traités et conditionnés. L'Ondraf travaille cependant sur deux projets de stockage à long terme :

- Un stockage en surface pour les déchets de faible ou moyenne activité à vie courte (type A) prévu sur le site de Dessel. La demande d'autorisation de création a été transmise à l'AFCN en 2013 qui a instruit le dossier et demandé des éléments complémentaires relatifs à la sûreté de l'installation. Un dossier d'évaluation de sûreté a donc été transmis par l'Ondraf à l'AFCN en 2019. L'autorisation pourrait être délivrée d'ici mi-2020 avec une mise en service possible en 2024[80].
- Un stockage géologique pour les déchets de moyenne et haute activité (types B et C).

2.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité (types B et C)

La recherche d'une solution de stockage à long terme des déchets de haute et moyenne activité a débuté en Belgique dès 1974, sous l'impulsion d'un programme de recherche européen. Dans ce cadre, SCK-CEN a donc entamé des études de conception d'un stockage géologique pour les déchets de type B et C, ainsi que des études d'un site d'implantation. Il s'avère que l'argile de Boom, présente sous le site nucléaire de Mol-Dessel entre 180 mètres et 280 mètres de profondeur, dispose des propriétés intéressantes pour abriter un tel stockage. En 1980, année de création de l'Ondraf-Niras, la construction du laboratoire souterrain Hades, sur le site de Mol-Dessel, a donc débuté pour étudier davantage les propriétés de cette formation géologique. Des programmes de R&D se succèdent désormais au sein de ce laboratoire souterrain, exploité par le groupement d'intérêt économique Euridice depuis 1995. En parallèle de ces travaux de recherche, l'Ondraf développe une approche participative basée sur la mise en place d'un partenariat avec le public et ce, dès la phase d'élaboration du projet. L'Ondraf consulte donc publiquement la population sur la question de la gestion à long terme des déchets radioactifs, et notamment les déchets de type B et C. À ce titre, une conférence de citoyens a été organisée pour échanger sur les choix stratégiques relatifs au projet de stockage géologique (réversibilité, sécurité, financement, etc.). Ces éléments permettent à l'Ondraf d'orienter son plan de gestion à long terme des déchets de haute et moyenne activité, soumis périodiquement à l'AFCN ainsi qu'à ses ministères de tutelles. Entre 2011 et 2018, l'Ondraf a proposé plusieurs versions de stratégies de gestion des déchets radioactifs, incluant notamment la solution de stockage géologique des déchets de type B et C. Si la formation des argiles de Boom était clairement mentionnée dans les premiers plans stratégiques, le dernier en date continue de faire état du stockage profond sans préciser la formation géologique concernée. Le calendrier indicatif de mise en place d'un stockage géologique avancé par l'Ondraf est le suivant :

- autorisation de création et de fonctionnement : T 0 ;
- début de la mise en stockage des déchets de catégorie B : T 0 + 15 ans ;
- début de la mise en stockage des déchets de catégorie C : T 0 + 55 ans (nécessité de laisser refroidir les déchets de type C en surface durant 60 ans minimum) ;
- fermeture complète de l'installation de stockage : T 0 + 100 ans.

2.3.3 Alternatives envisagées

En parallèle des recherches effectuées sur la conception d'un stockage géologique des déchets de type B et C, un effort est également porté sur le développement d'un réacteur expérimental ayant pour objectif de démontrer la faisabilité technique de la transmutation. Le projet Myrrha[81] (Multi-purpose hybrid research reactor for high-tech applications) développé sur le site de Mol est aujourd'hui le projet le plus

[80] Cette synthèse ne s'intéressant qu'aux modalités de gestion des déchets de haute et moyenne activité à vie longue, ce projet de stockage ne sera pas détaillé plus avant
[81] https://myrrha.be/fr/

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

avancé en Europe. Le gouvernement belge contribue à hauteur de 558 millions d'euros à la construction du réacteur de recherche, dont la première phase de construction est prévue pour 2019-2038.

» NOTE IMPORTANTE

Dans son avis sur le plan de déchet élaboré par l'Ondraf, l'AFCN considère le stockage en forage comme une option possible, mais aucune étude poussée sur le sujet n'est menée à l'heure actuelle.

2.4 Modalités de financement

Le corpus réglementaire belge définit au travers de différentes lois les mécanismes de financement de la gestion des déchets radioactifs à court, moyen et long termes. À court terme, la gestion des déchets radioactifs est financée par les producteurs de déchets, sur la base de grilles tarifaires revues tous les 5 ans. Pour financer la gestion à long terme des déchets radioactifs, l'Ondraf-Niras constitue des provisions à partir des versements effectués par les bénéficiaires de ses services. Depuis 1999, un « fonds à long terme » est géré par l'Ondraf-Niras et prend en charge les fonds versés par les producteurs pour les futurs services de stockage à long terme. À noter que ces fonds sont versés par les producteurs depuis 1985. Depuis 1992, un fonds d'insolvabilité a été mis en place afin de pouvoir atténuer les conséquences possibles d'une faillite ou d'une insolvabilité de la part d'un des producteurs de déchets. Ce fonds s'alimente par un prélèvement de 5 % sur les fonds déjà versés par les producteurs pour la gestion de leurs déchets. Dans son programme national de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs paru en 2015, l'Ondraf envisageait les coûts suivants :

- pour les déchets de type A, (70 000 m^3 estimés) le coût du projet de stockage (construction, fonctionnement, fermeture et contrôle) est calculé à 1,25 milliards d'$euros_{2012}$ (coût non actualisés, marges pour aléas incluses) ;
- pour les déchets de type B et C (4 500 m^3 estimés), en 2015, le coût du projet de stockage (construction, fonctionnement, fermeture et contrôle) est calculé à 3,2 milliards d'$euros_{2012}$ (coût non actualisés, marges pour aléas incluses) (109). En 2018, Le Conseil d'Administration de l'Ondraf a diffusé un communiqué où il « a pris acte de l'estimation du coût du stockage géologique des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie. Pour ce qui est du calcul des tarifs, l'estimation provisoire s'élève à 8 milliards d'euros sur deux ans. » Ainsi, « une nouvelle estimation des coûts sera disponible fin 2020. Pour le calcul des provisions, l'Ondraf propose, par précaution, que la Commission des provisions nucléaires tienne compte d'un montant de 10,7 milliards d'euros. » (110).

Pour le cas spécifique des centrales nucléaires, la loi du 11 avril 2003 (107) confie à la société Synatom la gestion des provisions constituées par les exploitants pour couvrir les coûts de démantèlement des centrales ainsi que les coûts de gestion des déchets radioactifs associés. La gestion des provisions par Synatom est contrôlée par la Commission des provisions nucléaires. À fin 2018, les provisions gérées par Synatom atteignaient les 11,1 milliards d'euros dont 55 % (6,158 milliards d'euros) dédiés à la gestion du combustible usé. À noter qu'en 2016, en réaction à la baisse constante des taux d'intérêt, la Commission des provisions nucléaires a recommandé de baisser progressivement le taux d'actualisation à 3,5 % en 2018.

Annexe 3 Gestion des déchets de type HA et MA-VL au Canada

3.1 Contexte national

En 2018, le Canada comptait 37 millions d'habitants avec un PIB d'environ 1 450 milliards d'euros.

3.1.1 Politique énergétique

Depuis le début des années 1960, le Canada utilise l'énergie nucléaire pour la production d'électricité à partir de réacteurs spécifiques de type Candu (Canada deutorium uranium) utilisant de l'uranium naturel issu des gisements canadiens. Aujourd'hui, 5 centrales situées dans l'Ontario, le Québec et au Nouveau Brunswick abritent 22 réacteurs nucléaires dont 19 sont encore en fonctionnement. À noter que c'est dans l'Ontario que la majorité des centrales nucléaires sont installées, fournissant pratiquement 60 % de la production d'électricité de la province. Sur le plan national, l'énergie nucléaire représente environ 17 % de l'énergie consommée au Canada. Des projets de nouveaux réacteurs ont été suspendus mais il n'est pas envisagé d'arrêter l'exploitation de l'énergie nucléaire. Le Canada ne retraite pas le combustible usé, qui est entreposé directement après refroidissement.

Le Canada a également une longue histoire dans la recherche et le développement des technologies nucléaires et l'exploitation des mines d'uranium (2e pays producteur d'uranium). Il en découle aujourd'hui des « déchets historiques » ainsi que des sites contaminés clairement identifiés dans les inventaires.

3.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

Au Canada, les acteurs principaux de la gestion des déchets radioactifs se répartissent comme suit (111) (112) :

- **Les électriciens**, se regroupent majoritairement autour de 3 compagnies principales. **Ontario power generation** (OPG), qui est le plus gros producteur d'électricité du Canada. Il détient 20 réacteurs nucléaires situés dans la province de l'Ontario. Sur ces 20 réacteurs, 2 sont à l'arrêt, 10 sont exploités par OPG et 8 sont loués et exploités par la société Bruce Power. OPG est responsable de la gestion des déchets radioactifs produits par l'ensemble des 20 réacteurs en sa possession. Au Nouveau-Brunswick et au Québec, les sociétés d'énergie nucléaire **Énergie NB** et **Hydro-Québec** (HQ) détiennent chacune un réacteur : point Lepreau et Gentilly II respectivement. En décembre 2012, Gentilly II a cessé ses activités.
- **L'organisme de recherche Atomic energy of Canada limited** (EACL) est une entreprise publique de technologie et de génie nucléaire qui œuvre particulièrement dans la R&D en matière de stockage des déchets radioactifs. Dans les années 1980-1990, EACL a notamment mis en œuvre un laboratoire de recherche souterrain plus connu sous le nom de URL (Underground research laboratory). Suite à des réductions drastiques de ses budgets, EACL a dû diminuer une grande partie de ses activités. L'URL a ainsi été arrêté en 2003 et définitivement fermé après travaux d'assainissement en 2010. Pour maintenir son expertise, EACL a lancé en 2014 sa filiale **Laboratoires nucléaires canadiens** (LNC) qui est désormais en charge de la gestion des déchets radioactifs historiques du Canada.
- **Le gestionnaire**, la société de gestion des déchets nucléaires **Nuclear waste management organisation** (SGDN ou NWMO) a été créée en 2002. Cette organisation réunit les 3 électriciens (OPG, Énergie NB et HQ) et a pour mission de rechercher les solutions de gestion à long terme des déchets de haute activité et du combustible usé.
- **L'autorité de sûreté nucléaire** nommée **Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN)**, est l'unique organisme de réglementation nucléaire du Canada. Il est responsable de la réglementation et de la surveillance des opérations menées par l'industrie nucléaire.

La politique cadre en matière de déchets radioactifs (1996 (113)) du gouvernement du Canada définit un ensemble de politiques, de lois et d'organisations qui œuvrent pour la gestion des déchets radioactifs. Le corpus réglementaire de cette politique cadre comprend notamment les lois suivantes :

- la loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires (2000 (114)), qui a créé la CCSN et en définit ses missions ;
- la loi sur les déchets de combustible nucléaires (2002 (115)), qui établit un cadre pour une solution nationale de gestion à long terme des déchets de haute activité et du combustible usé et a conduit à la création de la SGDN/NWMO.

3.2 Sources, types et quantités de déchets

Dès les années 1930, l'industrie du radium puis le traitement de l'uranium ont généré les premiers déchets radioactifs au Canada, auxquels se sont ensuite ajoutés depuis les années 1960 les déchets issus de l'industrie électronucléaire. En 2008, le Canada a revu son système de classification des déchets pour s'accorder aux recommandations faites par l'Agence internationale de l'énergie atomique. Quatre grandes catégories de déchets radioactifs ont ainsi été établies :

- les déchets radioactifs de faible activité ;
- les déchets radioactifs de moyenne activité ;
- les déchets radioactifs de haute activité ;
- les déchets issus des mines et usines de concentration d'uranium.

Les déchets de faible et moyenne activité concernent essentiellement le fonctionnement des réacteurs nucléaires. À la fin de l'année 2013, l'inventaire des déchets radioactifs comptait environ 2 387 442 m^3 de déchets de faible et moyenne activité, avec une prévision à l'horizon 2050 dépassant les 2 567 541 m^3. Les déchets de haute activité se caractérisent quant à eux par un fort dégagement calorifique supérieur à 2 kW/m^3. Il s'agit principalement de combustible usé. En 2013, l'inventaire faisait état de 10 021 m^3 de déchets de haute activité avec une prévision pour fin 2050 de 20 660 m^3.

3.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

3.3.1 Solutions de gestion actuelle

À l'heure actuelle, aucune installation de stockage définitive n'est en service pour permettre la gestion des déchets radioactifs. Seuls des entreposages temporaires, bien souvent situés au niveau des centrales, permettent de gérer les déchets radioactifs en attendant la mise en place des projets de stockage définitifs pour les différentes catégories de déchets. À noter que sur le site de la centrale de Bruce, un entreposage temporaire accueille aujourd'hui quelques 77 000 m^3 de déchets de faible et moyenne activité. Cet entreposage temporaire est géré par OPG.

Trois projets de stockage définitifs sont envisagés à l'heure actuelle :

- un projet de stockage géologique réservé aux déchets de haute activité porté par la SGDN/NWMO ;
- un projet de stockage géologique dédié aux déchets de faible et moyenne activité à vie longue, situé à proximité de la centrale nucléaire de Bruce à Kincardine (province de l'Ontario) et porté par OPG ;
- un projet de stockage en sub-surface, porté par les LNC, visant à abriter jusqu'à 1 million de m3 de déchets de faible activité hérités des activités de recherche du site du Laboratoire national de Chalk River à Ottawa[82] .

[82] Cette synthèse ne s'intéressant qu'aux modalités de gestion des déchets de haute et moyenne activité à vie longue, ce dernier projet de stockage ne sera pas détaillé ci-après.

3.3.2 Projet de stockage des déchets de faible à moyenne activité à vie longue

OPG envisage la réalisation d'un stockage géologique profond pour recevoir les déchets de faible et moyenne activité à vie longue produits par ses réacteurs. Ce site sera localisé à proximité de l'actuelle installation de stockage temporaire située sur le site nucléaire de Bruce. Le stockage est prévu à 680 mètres de profondeur, dans une formation argilo-calcaire surmontée par une couche de schiste argileux de 200 mètres d'épaisseur. Le stockage est dimensionné pour recevoir environ 200 000 m³ de déchets. En 2001, la municipalité de Kincardine s'est portée candidate pour abriter ce futur stockage géologique. Fin 2005, la procédure d'approbation réglementaire a été lancée avec l'instruction successive de différents dossiers d'évaluation (évaluation de sûreté, évaluation d'impact environnemental, etc.). En mai 2015, le projet de stockage sur le site de Kincardine a été jugé acceptable pour gérer à long terme des déchets faiblement et moyennement radioactifs. Il a cependant été demandé à OPG de compléter ses dossiers pour :

- apporter des détails sur les autres solutions alternatives ;
- envisager la possibilité de stocker sur le même site les déchets de haute activité et donc évaluer les possibles effets cumulatifs.

À ce jour, l'autorisation du projet reste incertaine. OPG estime qu'il faut encore compter 5 à 7 ans avant d'obtenir les autorisations administratives, lancer les travaux et pouvoir *in fine* exploiter le site.

3.3.3 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute activité

Dès les années 1970, des recherches sur la manière de gérer les déchets de haute activité ont été menées au Canada. Plusieurs pistes de gestion ont été envisagées (à savoir, option de stockage dans les fosses de subduction[83], entreposage centralisé, etc.) et plus particulièrement celle du stockage géologique. En 1978, sur la demande du gouvernement fédéral, EACL a entrepris divers programmes de recherche dédiés au stockage en formation géologique. Ces programmes de recherches, qui se sont échelonnés de 1979 à 2003, ont notamment impliqué la mise en place du laboratoire souterrain URL (Underground Research laboratory, laboratoire de recherche souterrain) dans la province de Manitoba. Initialement, le fonctionnement du stockage géologique était prévu pour le début des années 2000. Cependant, au cours des années 1990, le gouvernement fédéral a souhaité que le projet de stockage géologique se développe en concertation avec l'ensemble des parties prenantes concernées. Plusieurs audiences et consultations publiques ont ainsi eu lieu, sous le regard d'une commission d'évaluation indépendante : la Commission Seaborn. En 1998, la Commission Seaborn a fait valoir ses recommandations à savoir que sur le plan technique, le concept de stockage géologique profond porté par EACL était suffisant. En revanche, ce concept n'avait pas l'appui du public et ne pouvait donc pas être accepté dans sa forme actuelle. Ces conclusions ont alors conduit à la mise en place de la loi sur les déchets de combustible nucléaires (2002 (115)), impliquant la création de la SGDN/NWMO qui a pour mission d'étudier de nouvelles options de gestion à long terme des déchets de haute activité (99).

Parmi l'ensemble des options de stockage envisagées (par exemple stockage géologique, entreposage sur les sites des réacteurs et entreposage centralisé profond ou en surface), la SGDN/NWMO a proposé en 2005, à la suite de nombreuses consultations du public, une option appelée « gestion adaptative progressive » (GAP), acceptée par le gouvernement en 2007. Cette option résulte du constat qu'une solution de stockage géologique profond laisse peu de chance de pouvoir intervenir sur le stockage après sa fermeture. Une solution d'entreposage en surface impliquerait quant à elle un cycle indéfini d'activités de surveillance, de remplacement et de rénovation des installations, avec *in fine* un transfert de responsabilité aux générations futures. La GAP permet de son côté une gestion séquentielle concertée, dont chaque étape est évaluée et soumise à concertation avant de passer aux étapes suivantes. La GAP prévoit à l'heure actuelle trois phases successives :

- la première phase, prévue pour une durée d'environ 30 ans, envisage d'entreposer les déchets sur le site des centrales nucléaires et de lancer en parallèle la construction d'un laboratoire souterrain ainsi qu'une campagne de recherche de sites où les déchets de haute activité pourrait être confinés et isolés dans un stockage géologique souterrain ;
- la deuxième phase, d'une trentaine d'années aussi, prévoit un entreposage centralisé ou le maintien sur site des déchets de haute activité. Sur la base des résultats issus des recherches menées au sein du laboratoire souterrain, l'opportunité de construire une installation de stockage géologique sera évaluée ;
- la dernière phase pourrait *in fine* consister en la réalisation d'un stockage géologique proprement dit.

[83] Option abandonnée en 2005.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

Depuis 2010, la SGDN/NWMO s'est engagée dans une campagne de recherche de sites candidats pour abriter un stockage géologique profond. Le processus de sélection du site est piloté par les collectivités et a été conçu de manière à s'assurer que le site choisi respecte l'ensemble des prérequis techniques et scientifiques, d'une part, et que la communauté locale est pleinement informée et volontaire pour mettre en œuvre ce projet, d'autre part.

Un total de 21 collectivités (toutes situées en Ontario) a exprimé leur intérêt pour abriter un stockage géologique profond. La SGDN/NWMO a retenu cinq propositions de site qui vont être davantage caractérisées. Des études géologiques exploratoires ont d'ores et déjà été engagées sur certains sites. En 2019, la liste des sites est réduite à 2 possibilités : Ignace dans le nord-ouest de l'Ontario et Huron-Kinloos dans le sud de l'Ontario. À l'heure actuelle, le calendrier prévoit la sélection d'un site pour l'implantation du stockage géologique d'ici 2023. Le fonctionnement pourrait débuter entre 2040 et 2045, pour une durée de 40 ans environ. Ensuite, une surveillance renforcée du stockage est prévue pour une durée de 70 ans.

3.4 Modalités de financement

En vertu du principe « pollueur-payeur », les producteurs de déchets se doivent d'assurer le financement de la gestion à long terme des déchets radioactifs produits. La loi sur les déchets de combustible nucléaires (2002 (115)) exige ainsi que chaque électricien établisse un fonds en fiducie et l'alimente annuellement. Ces fonds en fiducie sont majoritairement alimentés par OPG, Énergie NB, Hydro-Québec et EACL. À la fin de 2016, le solde des fonds en fiducie s'élevait à 4 milliards de dollars canadiens (soit environ 2,6 milliards d'euros). En mars 2020, la SGDN a présenté une « *estimation du coût* (est) *basée sur une quantité prévue d'approximativement 5,2 millions de grappes de combustible. D'après ce volume, le coût du cycle de vie entier de la GAP – du début du processus de sélection d'un site, en 2010, jusqu'à l'achèvement du projet dans environ 150 ans – serait approximativement de 23 milliards de dollars canadiens*$_{2015}$ », soit environ 15 milliards d'euros (116).

Annexe 4 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Chine

4.1 Contexte national

En 2018, la Chine comptait 1 385 millions d'habitants avec un PIB d'environ 11 532 milliards d'euros.

4.1.1 Politique énergétique

Le parc électronucléaire chinois s'est développé dans les années 1990, avec la mise en service de sa première centrale nucléaire -Daya Bay I- en 1993. Depuis, la construction de nouvelles centrales nucléaires n'a eu de cesse de se poursuivre, dans l'objectif de répondre au développement économique croissant du pays ainsi qu'aux préoccupations environnementales de plus en plus pressantes en ce qui concerne notamment la pollution de l'air. Fin 2018, la Chine comptait 46 réacteurs en fonctionnement (dont 70 % ont été construits lors de la dernière décennie), ainsi que 11 réacteurs en construction. Environ 4 % de l'électricité produite en Chine est d'origine nucléaire, le reste de l'électricité étant produit en majorité (70 %) par des centrales à charbon. Dans son 13e plan quinquennal sur le développement économique et social (2015-2020), le gouvernement chinois a affirmé sa volonté d'aller progressivement vers une production d'énergie décarbonée, en ayant pour premier objectif d'atteindre la part de 20 % d'énergie propre et non fossile d'ici 2030. Dans ce contexte, le développement de l'énergie nucléaire prend tout son essor pour tenter de contribuer à hauteur de 6 % à 7 % à la production électrique nationale d'ici 2030. Pour alimenter un tel parc nucléaire, la Chine vise son autonomie sur l'ensemble du cycle du combustible. Elle exploite ainsi des mines d'uranium sur son territoire ainsi qu'à l'étranger, développe des usines d'enrichissement ainsi que celles de fabrication du combustible. La Chine a également opté pour une stratégie de retraitement du combustible. Plusieurs développements sont en cours, en collaboration avec Orano. La majorité des centrales chinoises se situe sur la côte littorale de la mer de Chine. Les installations stratégiques d'enrichissement d'uranium et de retraitement du combustible ont quant à elles été implantées à l'intérieur des terres, majoritairement à l'ouest et au nord-ouest de la Chine, dans les provinces de Sichuan, Shaanxi et Gansu.

4.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

En Chine, les acteurs principaux de la gestion des déchets radioactifs se répartissent comme suit (117) :

- l'**autorité de sûreté**, appelée **National nuclear safety administration** (NNSA), qui supervise l'ensemble des installations nucléaires et contrôle le respect des normes de sûreté et de radioprotection ;
- le **ministère de l'environnement**, le **Ministry of environmental protection** (MEP) qui, en tant qu'autorité nationale en matière d'environnement, élabore les réglementations et les lois associées dans le domaine nucléaire, et supervise ainsi la NNSA dans ses activités ;
- l'**agence pour l'énergie atomique**, la **China atomic energy authority** (CAEA), qui est en charge du développement de la politique du cycle du combustible. La CAEA supervise également les projets de stockage des déchets radioactifs ;
- la **société nationale nucléaire**, **China national nuclear corporation** (CNNC) qui gère les activités de R&D ainsi que l'ensemble de la chaine du combustible, allant de la prospection d'uranium au fonctionnement de la production électrique, en passant par le retraitement du combustible. La CNNC gère également le traitement et le stockage des déchets radioactifs. Pour mener ses activités, la CNNC s'appuie sur plusieurs de ses filiales dont notamment :
  - ✓ **Everclean environmental engineering corporation** (EEEC) qui est en charge du transport des matières radioactives ainsi que des travaux sur les stockages de déchets de faible et moyenne activité. Plus précisément, EEE est responsable des stockages de Diwopu (province de Gansu) et Beilong (province de Guangdong) ;

- le **centre national géoscientifique de l'urianium, Beijing research institute of uranium geology** (BRIUG) responsable des programmes d'identification de sites appropriés pour l'implantation d'un stockage géologique dédié aux déchets de haute activité ;
- la **compagnie en charge du management de l'énergie nucléaire, China nuclear power engineering company** (CNPEC) assure la construction des centrales nucléaires, les services d'ingénierie ainsi que ceux liés aux activités de démantèlement. Par ailleurs, elle a pour mission de faire les études de conception du stockage profond (118).

Dès la construction de ses premières centrales nucléaires, la Chine a établi et maintenu un cadre législatif régissant la sûreté des installations nucléaires ainsi que la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé. Depuis 1986, les installations nucléaires (aval du cycle y compris) sont régies par les Regulations of the people's republic of China on safety control of civilian nuclear installations (119). Depuis, le corpus législatif a été amendé avec notamment la promulgation en 2003 d'une loi sur la prévention des pollutions radioactives, l'information du public et la gestion des déchets (Law of the People's republic of China on prevention and control of radioactive pollution (120)). En 2011, une loi relative à la sûreté de la gestion des déchets radioactifs (Regulations on safety of radioactive waste management) a également été approuvée par l'Assemblée nationale populaire.

4.2 Sources, types et quantités de déchets

En Chine, les déchets radioactifs proviennent en majorité des centrales nucléaires, des réacteurs de recherche, des activités militaires, du cycle du combustible nucléaire ou encore de l'exploitation de l'uranium. Pour classer ses déchets radioactifs, le gouvernement chinois s'est essentiellement basé sur leur niveau d'activité. Globalement la classification chinoise intègre trois grandes catégories de déchets :

- les déchets radioactifs de faible activité, comprenant les déchets dont l'activité n'excède pas 4.10^{+6} Bq/kg.
- les déchets de moyenne activité, se caractérisant par une activité située entre 4.10^{+6} Bq/kg et 4.10^{+11} Bq/kg et dont la capacité thermique n'excède pas 2 kW/m³.
- les déchets de haute activité, définis par une activité excédant 4.10^{+11} Bq/kg et une capacité thermique supérieure à 2 kW/m³. Généralement, cette catégorie de déchets comprend les déchets générés par le combustible usé provenant des réacteurs nucléaires ou de recherche et de son retraitement.

Au 31 décembre 2016, l'industrie électronucléaire avait produit environ 5 849 tonnes de combustible usé. Un total de 13 524 m³ de déchets solides de faible et moyenne activité sont quant à eux stockés au sein de deux sites de stockage en service actuellement (Diwopu et Beilong).

4.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

La stratégie chinoise en matière de gestion des déchets radioactifs définit que les déchets de faible et moyenne activité seront stockés dans des centres régionaux tandis que les déchets de haute activité seront placés dans un centre national à savoir, un stockage géologique profond.

4.3.1 Solutions de gestion actuelle

À l'heure actuelle, les déchets de haute activité (essentiellement du combustible usé) provenant des centrales nucléaires sont d'abord stockés dans les piscines d'entreposage des centrales (36 piscines recensées) pour une période d'environ 5 ans. Un entreposage centralisé du combustible usé a été construit sur le site nucléaire de Lanzhou, à proximité d'un complexe nucléaire militaire ainsi que d'une usine d'enrichissement du combustible, dans la province de Gansu. Il est destiné à recevoir le combustible usé provenant des piscines d'entreposage des centrales.

Pour ce qui concerne les déchets de faible et moyenne activité, ils sont eux-aussi entreposés de manière temporaire, pour une durée de 5 ans maximum, sur les sites des centrales nucléaires. Pour le stockage à long terme de ce type de déchets, des centres de stockages régionaux sont prévus. À l'heure actuelle, deux centres de stockage régionaux sont en service :

- un site implanté à proximité d'une usine pilote de retraitement, près de la ville de Diwopu, dans la province de Gansu, dans le nord-ouest de la Chine. Le concept est celui d'un stockage en tranchées ouvragées. Sa capacité actuelle est de 60 000 m^3 pouvant être augmentée à 200 000 m^3 ;
- un site implanté à Beilong, dans le sud de la Chine, dans la province du Guangdong, à 5 km de la centrale de Day Bay. Le concept est celui d'un stockage en surface comportant un réseau de drainage souterrain. Sa capacité est de 8 800 m^3 pouvant être étendue à 80 000 m^3.

Au total, cinq sites de stockages dédiés aux déchets de faible et moyenne activité sont prévus en Chine. Un total de trois sites de stockage sont donc actuellement en cours de conception avec recherche de localisation potentielle, plus précisément dans les régions est et sud de la Chine.

4.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

Le gouvernement chinois a retenu l'option du stockage géologique profond pour la gestion à long terme des déchets de haute activité, qui, d'après les choix stratégiques du gouvernement, seront des déchets vitrifiés issus du retraitement du combustible. La recherche d'un site pouvant abriter un tel stockage a débuté dès 1986 et se poursuit encore à l'heure actuelle. Les Guidelines on research and development planning for geological disposal of high level radioactive waste (117), publiées en 2006 conjointement par le MEP, la CAEA et le ministère des sciences et technologies, définissent la stratégie de R&D nécessaire à la mise en place du stockage géologique. Ces guidelines prévoient notamment le calendrier suivant :

- 2006-2020 : identification d'un site pour la construction d'un laboratoire souterrain ;
- 2021-2040 : mise en place des programmes de recherche en laboratoire souterrain pour caractériser la formation géologique prête à abriter le stockage et réaliser l'ensemble des évaluations de sûreté. En parallèle, développement du prototype de stockage ;
- 2040-2050 : construction effective de l'installation de stockage ;
- 2050 : mise en service du stockage.

Pour répondre à ces enjeux, la CAEA ainsi que l'ensemble de ses filiales ont donc concentré leurs efforts sur la recherche du futur site du laboratoire souterrain. En 1986, cinq zones d'investigation avaient été sélectionnées à savoir : à l'est (formation granitique), au sud-ouest (formations granitique et argilo-schisteuse), au sud (formation granitique), au nord-ouest (formations argileuse, granitique et argilo-schisteuse) de la Chine, ainsi qu'en Mongolie intérieure (formation granitique). Aujourd'hui, les investigations se concentrent davantage sur la zone nord-ouest de la Chine, au niveau de la province de Gansu, dans la région de Beishan, où trois sites candidats sont à l'étude. Un laboratoire souterrain devrait prochainement être construit sur l'un de ces trois sites. Le stockage géologique envisagé se fera alors en formation granitique, à 500 mètres de profondeur.

4.3.3 Alternatives envisagées

En parallèle des recherches effectuées sur la conception d'un stockage géologique des déchets de haute activité, la Chine étudie également la question de la transmutation. Le projet CiADS (China initiative accelerator driven system) est en cours de construction (2018-2024).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

4.4 Modalités de financement

Le système politique chinois défini aujourd'hui implique que le financement de la gestion des déchets radioactifs est assuré par l'État. À noter cependant que le système évolue progressivement. Désormais, une taxe de 2,6 yuans chinois/kWh (soit 0,33 euros/kWh) est prélevée à partir de la cinquième année de fonctionnement de chaque réacteur nucléaire pour contribuer à la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé.

Annexe 5 Gestion des déchets de type HA et MA-VL et en Espagne

5.1 Contexte national

En 2018, l'Espagne comptait près de 47 millions d'habitants avec un PIB d'environ 1 200 milliards d'euros.

5.1.1 Politique énergétique

En Espagne, l'utilisation commerciale de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité a débuté en 1968, avec la mise en service du réacteur José Cabrera. La construction de nouvelles centrales nucléaires s'est ensuite poursuivie, puis s'est interrompue en 1984 à la suite d'un moratoire nucléaire. Ce moratoire fut motivé par plusieurs raisons : raisons techniques, raisons dérivées de la demande d'électricité et de l'opposition à l'énergie nucléaire, notamment en Estrémadure et au Pays Basque. Le programme nucléaire espagnol comportait également des installations de l'ensemble du cycle du combustible (extraction, traitement du minerai, fabrication du combustible, traitement du combustible usé). En 1983, l'évolution du marché de l'uranium (baisse du coût de l'uranium) a cependant conduit le gouvernement à arrêter le traitement du combustible usé.

Aujourd'hui, l'énergie nucléaire représente environ 20 % de l'énergie consommée en Espagne, avec 7 réacteurs encore en activité et 3 réacteurs en phase de démantèlement (Vandellós 1 arrêté en 1990, José Cabrera mis à l'arrêt en 2006 et Santa María de Garoña en 2017). La durée de fonctionnement des centrales espagnoles est prévue pour environ 40 ans. Toutefois, depuis avril 2019, le ministère de la transition écologique envisage de prolonger la durée de vie de certaines centrales. Une étude est en cours au sein des centrales concernées pour évaluer la rentabilité économique d'une telle option.

5.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

En Espagne, les acteurs de la gestion des déchets radioactifs se répartissent comme suit (121) (122) :

- Les **ministères** et plus particulièrement le **ministère de l'énergie, du tourisme et de la stratégie numérique** (MINETAD) ainsi que le ministère de la transition écologique (MITECO) ont pour rôle de réglementer les activités nucléaires et leurs impacts environnementaux en délivrant des autorisations liées à la construction, le fonctionnement et la fermeture des installations nucléaires. La Direction pour l'énergie et les mines, dépendant du MINETAD, assure quant à elle la tutelle d'ENRESA.
- L'**autorité de sûreté nucléaire**, nommée **Conseil de sûreté nucléaire** (CSN), est indépendante depuis sa création en 1980 et est la seule autorité compétente en matière de sûreté et de radioprotection. Cette autorité assure la réglementation nucléaire, l'examen des autorisations nécessaires aux installations nucléaires ainsi que la surveillance de ces installations.
- Le **gestionnaire**, **Empresa nacional de residuos radioactivos SA** (ENRESA), crée en 1984 et qui depuis 2010, suite à la loi 11/2009, est une entreprise publique rendant compte de ses activités au MINETAD. Les missions d'ENRESA se concentrent sur la conception, la construction et le fonctionnement des installations de stockages temporaires et définitifs dédiés aux déchets radioactifs. ENRESA est également responsable du démantèlement des installations nucléaires espagnoles.
- Les **électriciens**, sont au nombre de 4 entreprises privées : ENDESA, IBERDROLA, UEFSA et HIDRO CANT/ABRICO.

L'arrêté Royal 102/2014 du 21 février 2014 fait la transcription en droit espagnol de la directive n° 2011/70/Euratom (21) et détaille ainsi les dispositions d'une gestion sûre et responsable du combustible nucléaire usé et des déchets radioactifs à mettre en œuvre en Espagne. Ces dispositions, déjà existantes dans la loi espagnole (25/1964, 54/1997, 1349/2003, 11/2009), permettent avant tout de rassembler l'ensemble des textes régissant la gestion des combustibles nucléaires et des déchets radioactifs d'activités civiles (122).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

Les choix stratégiques en matière de gestion des déchets radioactifs sont approuvés par le gouvernement espagnol. Tous les 4 ans, un plan national de gestion des déchets radioactifs est donc publié par le MINETAD. Ce plan comprend un volet technique présentant le programme stratégique et les actions de recherche et développement à mener par ENRESA, ainsi qu'un volet économique et financier.

5.2 Sources, types et quantités de déchets

L'Espagne a commencé à produire des déchets radioactifs à partir des années 1950 environ. Aujourd'hui, les déchets radioactifs proviennent essentiellement des 7 réacteurs encore en activité, de l'usine de fabrication de combustible nucléaire ainsi que de plus d'un millier de producteurs utilisant des radioéléments à des fins industrielles, médicales ou de recherche. Une autre source importante de déchets est le démantèlement des trois réacteurs en arrêt. L'arrêt du retraitement du combustible usé en 1983 a conduit à considérer aujourd'hui le combustible usé comme un déchet, qui est stocké directement sur le site des centrales. À noter cependant que dans les années 1980, une partie du combustible espagnol a été transporté en France et en Angleterre pour y être traité.

La classification des déchets radioactifs en Espagne est conforme aux critères retenus par l'Agence internationale de l'énergie atomique ainsi que par la Commission européenne. Comme en France, la classification espagnole prend en compte l'activité des déchets ainsi que la demi-vie des principaux radionucléides contenus dans les déchets, pouvant être courte à moyenne (demi-vie inférieure à 30 ans) ou longue (demi-vie supérieure à 30 ans). Les déchets radioactifs sont donc classés en deux grandes catégories :

- les déchets à vie courte, pouvant être de très faible, faible et moyenne activité ;
- les déchets de haute activité incluant le combustible usé ainsi que les déchets issus du retraitement du combustible usé opéré avant 1983. Les « déchets spéciaux » sont associés aux déchets de haute activité en raison de leurs propriétés radiologiques. Ils comprennent principalement les déchets de moyenne activité à vie longue issus des premiers réacteurs en démantèlement.

En tenant compte d'une durée de vie des centrales fixée à 40 ans, les estimations des volumes de déchets prévus une fois l'ensemble des réacteurs nucléaires démantelés sont de 176 000 m^3 de déchets de très faible et faible activité, entre 544 m^3 et 614 m^3 de déchets spéciaux et environ 6 640 tML pour les déchets de haute activité et le combustible usé (123).

5.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

5.3.1 Solutions de gestion actuelle

Depuis 1992, le centre de stockage d'El Cabril (région de Cordoue) est exploité par ENRESA afin de stocker en surface les déchets de faible et moyenne activité produits en Espagne. Ce centre de stockage est également équipé pour pouvoir traiter et réduire le volume des déchets. En 2008, une zone supplémentaire sur le site a été spécifiquement dédiée au stockage des déchets de très faible activité. La capacité prévue pour ce centre de stockage est de 50 000 m^3 pour les déchets de faible activité et environ 60 000 m^3 pour les déchets de très faible activité.

Pour ce qui concerne le combustible usé issu du fonctionnement des centrales nucléaires, il a été entreposé dès les années 1990 sur les sites de chaque centrale, au sein de piscines. La capacité de ces piscines étant arrivée à saturation, les entreposages d'origine ont été progressivement remplacés par d'autres unités plus compactes. Au début des années 2000, de nouvelles capacités se sont révélées nécessaires dans la plupart des centrales nucléaires. Des installations individuelles ont ainsi été progressivement mises en service et construites sur le site de nombreuses centrales nucléaires encore en opération. Les sociétés d'énergie nucléaire sont responsables de ces installations d'entreposage décentralisées.

5.3.2 Solution de gestion temporaire envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

À moyen terme, la principale stratégie envisagée pour les déchets de haute activité ainsi que pour les déchets spéciaux consiste à les entreposer au sein d'un centre temporaire appelé Almacen Temporal Centralizado (ATC), qui serait sous la responsabilité d'ENRESA. En 2012, la municipalité de Villar de Cañas (province de Cuenca) a été désignée par le conseil des ministres comme site pouvant accueillir l'ATC. L'autorité de sûreté (CSN) a approuvé le choix du site ainsi que sa conception, qui est similaire à celle de l'installation de Habog aux Pays-Bas (entreposage à sec). La période de fonctionnement prévue pour ce centre de stockage temporaire est d'environ 60 ans, avec la possibilité de prolonger l'installation pendant 100 ans. Cet entreposage temporaire pourra permettre d'accueillir les petites quantités de déchets issus du retraitement du combustible réalisé en Angleterre et France, tels que par exemple, les déchets de haute activité vitrifiés provenant du site de retraitement de La Hague. Le projet d'installation progressait bien, ENRESA avait notamment fait une demande d'autorisation officielle du projet auprès du CSN. Le ministère de la transition écologique a cependant demandé fin 2018 au CSN de suspendre temporairement la décision concernant l'autorisation du projet. Cette suspension est à replacer dans le contexte d'une interrogation actuelle du gouvernement espagnol sur la possibilité de prolonger la durée de vie de certaines centrales.

5.3.3 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

Le stockage géologique en profondeur est la solution de référence envisagée en Espagne pour gérer de manière définitive les déchets de haute activité et les déchets spéciaux. Depuis 1985, des travaux ont donc été menés pour étudier les différentes options de stockage en profondeur. Jusqu'ici, les recherches se sont axées sur :

- la réalisation d'un plan de sélection de site, élaboré jusqu'en 1996. Ce plan a permis de conclure que le sous-sol espagnol abrite une abondance de granite, d'argile et, dans une moindre mesure, de formations salines. Entre 1986 et 1996, une analyse précise de ces formations géologiques a été réalisée pour identifier celles pouvant abriter un stockage profond de déchets radioactifs. À la suite de ces travaux, un inventaire des formations géologiques candidates a été créé ;
- l'élaboration de modèles conceptuels d'une installation de stockage profond dans chacune des couches géologiques identifiées ;
- l'évaluation des modèles conceptuels visant à démontrer que les différentes couches géologiques envisagées permettent de respecter les critères de sûreté.

À l'heure actuelle, la construction du stockage géologique est prévue pour les années 2050, avec une phase de fonctionnement envisagée à partir des années 2060. La chronologie suivante a été proposée par l'Espagne lors de son dernier rapport remis à la Joint Convention (2017) (122) :

- phase 1 (2016-2020) : mise à jour des connaissances ;
- phase 2 (2020-2023) : évaluation des connaissances et orientation des phases futures ;
- phase 3 (2023-2027) : processus de sélection du site ;
- phase 4 (2028-2035) : analyse des sites candidats ;
- phase 5 (2036-2050) : caractérisation du site et vérification de son adéquation ;
- phase 6 (2051-2063) : licence et construction ;
- phase 7 (2063-2068) : première mise en service ;
- phase 8 (2069 et ensuite) : fonctionnement.

5.3.4 Alternatives envisagées

Parallèlement, aux recherches menées sur le stockage géologique, le plan national de gestion des déchets radioactifs incite ENRESA à poursuivre les recherches sur la séparation-transmutation. Ces dernières années, un effort important a donc été effectué par ENRESA pour suivre l'évolution des technologies dans ce domaine. La plupart des travaux réalisés sont de nature préliminaire et concernent essentiellement des analyses de faisabilité, avec un contenu essentiellement théorique.

5.4 Modalités de financement

La loi 11/2009 réglemente le dispositif de fonds de financement dédié à la gestion des déchets radioactifs et du démantèlement (122). La gestion financière du fonds est réalisée par ENRESA, sous le contrôle du MINETAD. Les exploitants nucléaires, produisant la plus grande quantité de déchets radioactifs sont les principaux contributeurs au fonds de financement. Les exploitants se voient ainsi taxés sur la vente des MWh générés. Selon l'Association nucléaire mondiale (WNA), cette taxe s'élève à environ à 3 €/MWh (environ 170 millions d'euros par an sur la base d'une production annuelle de 57 TWh). Les prestations de service d'ENRESA auprès notamment des petits producteurs de déchets alimentent également ce fonds. Les revenus du fonds sont investis sur le marché financier et ces actifs génèrent des revenus supplémentaires qui, à leur tour, viennent compléter ce fonds de financement. À noter que la loi stipule que de telles opérations d'investissement sont régies par les principes de sécurité, de rentabilité et de liquidité.

Début 2018, ce fonds de financement s'élevait à environ 5 milliards d'euros, pour une somme requise de 13 milliards d'euros d'ici 2070. D'après l'Association nucléaire mondiale, le taux d'actualisation serait de 2,5 %.

Annexe 6 Gestion des déchets de type HA et MA-VL aux États-Unis d'Amérique

6.1 Contexte national

En 2018, les États-Unis d'Amérique comptait 327 millions d'habitants avec un PIB évalué à 17 410 milliards d'euros.

6.1.1 Politique énergétique

Les États-Unis d'Amérique sont le premier producteur mondial d'électricité nucléaire (807 TWh en 2018, soit 19 % de la production nationale d'électricité) et disposent de 98 réacteurs en fonctionnement. Deux réacteurs sont actuellement en construction sur le site de Vogtle, avec une connexion au réseau prévue en 2021.

La politique énergétique américaine est fortement influencée par les conditions économiques. Le coût bas des énergies fossiles ne favorise pas le déploiement à court terme de nouvelles capacités de production d'électricité d'origine nucléaire malgré l'existence de nombreux projets. Plusieurs installations s'engagent vers une mise à l'arrêt définitif. Si le respect des engagements pris dans le cadre du Clean Power Act de l'US EPA constituait un facteur positif pour l'industrie nucléaire, la remise en cause de ces engagements par la Maison Blanche ne favorise pas, également, le déploiement de nouvelles capacités (124).

Depuis 1977, les États-Unis d'Amérique ne procèdent plus au recyclage du combustible usé issu des réacteurs nucléaires civils. Le combustible usé est donc entreposé en piscine ou à sec à proximité des installations. Entre 1966 et 1972, une installation a procédé au recyclage de 640 tonnes de combustibles usé provenant pour partie d'installations commerciales.

6.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

Aux États-Unis d'Amérique, les acteurs de la gestion des déchets radioactifs se répartissent comme suit (125) (126) :

Les exploitants de centrales nucléaires et d'installations générant des déchets radioactifs (titulaires d'une autorisation de fonctionnement) sont responsables de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs.

- La **Nuclear regulatory commission** (NRC), est une agence indépendante qui régule les activités nucléaires civiles, en particulier les réacteurs électronucléaires et les installations du cycle du combustible. La NRC est ainsi l'autorité responsable des installations de déchets radioactifs, y compris des entreposages de combustibles usés.
- Le **Department of energy** (DOE) est responsable du développement de l'énergie nucléaire, du programme d'armes nucléaires et de la non-prolifération des matières fissiles. Le DOE exerce le rôle d'autorité sur ses installations et ses activités, assure la gestion des déchets radioactifs (y compris le combustible usé des réacteurs de la défense et les déchets issus du retraitement de ce combustible) et pilote la réhabilitation de ses sites.
- L'**Environment protection agency** (EPA) établit les standards de protection de l'environnement contre les matières dangereuses, y compris certaines matières radioactives. L'EPA est l'autorité qui établit les standards de remédiation des anciennes mines d'uranium et des sites contaminés et les standards de radioprotection de l'environnement applicables à la gestion et au stockage des combustibles usés, des déchets de haute activité et des déchets transuraniens (TRU).
- Le Nuclear waste policy act (127) (NPWA) de 1982 établit la responsabilité de l'État fédéral en matière de stockage des déchets de haute activité (HLW) et du combustible usé. Dans le cadre établit par le NWPA, le DOE est responsable du développement de capacités de stockage pour les déchets de haute activité (HLW) et le combustible usé, l'EPA est responsable de la définition des standards de protection de l'environnement applicable aux stockages et la NRC doit développer le cadre réglementaire permettant le respect des standards élaborés par l'EPA. Les principaux textes réglementaires associés figurent dans les sections 10 (énergie) et 40 (protection de l'environnement) du Code of federal regulations (CFR) (128).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

6.2 Sources et types de déchets

Les déchets radioactifs et matériaux liés à l'exploitation et au traitement du minerai d'uranium sont produits en majorité par l'industrie nucléaire, le DOE et le secteur de la recherche.

La catégorisation des déchets radioactifs s'appuie sur leur potentiel de danger (activité) et leur origine.

Les déchets de faible activité (low level waste, LLW) sont regroupés en 4 catégories en fonction de leur activité (A, B, C et GTCC) ; les déchets de faible activité avec une activité supérieure à ceux de la classe C font l'objet de la 4ème catégorie dite « greater than class C » (GTCC).

Les déchets de haute activité (high level waste, HLW) regroupent les matériaux issus en particulier du retraitement du combustible usé, y compris sous forme liquide.

Les déchets transuraniens (TRU) correspondent à des matériaux avec des éléments de numéro atomique supérieur à 92 (le neptunium, le plutonium, l'américium et le curium), et dont l'activité massique est supérieure à 3 700 Bq/g.

Fin 2016, l'industrie nucléaire américaine a produit 77 900 tonnes de métal lourd (tML) de combustible usé, avec 2 454 t de métal lourd produit par le gouvernement (DOE), 1 042 kg de métal lourd produit par la recherche et 79 kg de métal lourd produit par les autres secteurs.

6.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

6.3.1 Solutions de gestion actuelle

Les États-Unis d'Amérique comptent 172 installations d'entreposage de combustibles usés réparties sur le territoire, dont 132 sur les sites abritant ou ayant abrité des réacteurs nucléaires. Le pays ne dispose pas d'installation de stockage pour les déchets GTCC, HLW et pour le combustible usé.

Les États-Unis d'Amérique disposent de plusieurs installations de stockage pour les déchets LLW et TRU, dont le tableau annexe 6.3-1 ci-dessous en donne un aperçu (non exhaustif).

Tableau Annexe 6.3-1 Installations de stockage pour les déchets de faible activité et transuraniens (respectivement LLW et TRU)

Gestionnaire	Installation	Type de déchets	Nombre	Volume de déchets
DOE	Waste isolation pilot plant (WIPP) Stockage géologique (Nouveau Mexique)	TRU	1	91 000 m³
	Larges boreholes[84] (Nevada)	TRU	1	200 m³
	Surface	LLW	18	1,7 10^7 m³

[84] Il s'agit d'un site d'essai comprenant 13 puits d'un diamètre de 3 à 3,6 mètres et de faible profondeur (36 mètres), dans lesquels sont entreposés des déchets radioactifs dans la partie basse du puit (jusqu'à 21 mètres de la surface) (129).

Gestionnaire	Installation	Type de déchets	Nombre	Volume de déchets
Privé	Stockage LLW (A, B et C) en fonctionnement	LLW	4	4,84 10^6 m^3
	Stockage LLW (A, B et C) sous surveillance	LLW	4	4,38 10^5 m^3

Les déchets TRU liés aux activités de défense sont stockés au Waste isolation pilot plant (WIPP). Il s'agit d'une installation de stockage géologique en formation saline à 650 m de profondeur située au Nouveau-Mexique exploitée depuis 1999 par le DOE. La construction du WIPP est estimée à environ 2 milliards d'US$ (environ 1,8 milliards d'euros) pour une capacité d'environ 175 000 m^3. Le fonctionnement du WIPP a été suspendue près de 3 ans suite à un accident intervenu entre février 2014 et janvier 2017. Fin février 2017, 91 000 m^3 de déchets étaient stockés au WIPP.

On compte 4 installations de stockage pour déchets LLW actuellement en fonctionnement pour les déchets LLW : Barnwell (classe A, B et C), Clive (classe A), Richland (classe A, B et C) et Andrews (classe A, B et C).

6.3.2 Solution de gestion définitive envisagée

Le site de Yucca Mountain, situé dans le Nevada, a été sélectionné pour accueillir un stockage géologique pour des déchets radioactifs et du combustible usé en 1986. Ce choix s'appuyait sur la base des caractéristiques géologiques du site, du coût estimé du projet à cet emplacement et de l'impact socioéconomique jugé positif. En 2002, à l'issue de près de 20 années d'études et de recherche, le Président George Walker Bush a approuvé puis ratifié la sélection du site sur recommandation du Secrétaire à l'Énergie malgré l'opposition du gouverneur du Nevada.

En 2008, le DOE a déposé auprès de la NRC une demande d'autorisation de création d'un stockage géologique pour du combustible usé et des déchets HLW sur le site de Yucca Mountain. Toutefois, en 2010, l'administration Obama, en désaccord avec le projet, y a mis fin (du moins temporairement), entrainant le retrait par le DOE de sa demande d'autorisation. Le DOE a alors mis en place une Blue Ribbon commission (130) sur l'avenir de la filière nucléaire américaine. Sur la base du rapport de cette commission, le DOE a élaboré une « Strategy for the management and disposal of used nuclear fuel and high-level waste » (131). Le DOE recommande un processus de sélection de sites s'appuyant en premier lieu sur le consentement des localités à accueillir les installations (entreposage centralisé du combustible usé, installation pilote pour le stockage géologique, etc.). La mise en place d'une agence pour la gestion des déchets radioactifs est également recommandée. L'horizon 2050 est évoqué pour le démarrage du fonctionnement d'une installation de stockage géologique.

Le rapport de la Blue Ribbon commission, repris par le DOE, précise l'importance du stockage géologique indépendamment de tout choix en matière d'énergie nucléaire :

« *Deep geologic disposal capacity is an essential component of a comprehensive nuclear waste management system for the simple reason that very long-term isolation from the environment is the only responsible way to manage nuclear materials with a low probability of re-use, including defense and commercial reprocessing wastes and many forms of spent fuel currently in government hands. The conclusion that disposal is needed and that deep geologic disposal is the scientifically preferred approach has been reached by every expert panel that has looked at the issue and by every other country that is pursuing a nuclear waste management program. Some commenters have urged the prompt adoption of recycling of spent fuel as a response to the waste disposal challenge, as well as a means to extend fuel supply. It is the Commission's view that it would be premature for the United States to commit, as a matter of policy, to "closing" the nuclear fuel cycle given the large uncertainties that exist about the merits and commercial viability of different fuel cycles and technology options. Future evaluations of potential alternative fuel cycles must account for linkages among all elements of the fuel cycle (including waste transportation, storage, and disposal) and for broader safety, security, and non-proliferation concerns. Moreover, all spent fuel reprocessing or recycle options generate waste streams that require*

a permanent disposal solution. In any event, we believe permanent disposal will very likely also be needed to safely manage at least some portion of the commercial spent fuel inventory even if a closed fuel cycle were adopted ». En d'autres termes : le stockage géologique est une composante essentielle du système américain de gestion des déchets radioactifs, quelles que soient les évolutions de la politique énergétique américaine, car c'est la seule option responsable sur le long terme permettant une isolation des déchets de haute activité.

6.4 Modalités de financement

Le Nuclear Waste Policy Act de 1982 a imposé aux exploitants d'avoir un accord contractuel avec le DOE pour le stockage du combustible usé et des déchets de haute activité (HLW). Cet accord stipule un versement équivalent à 0,001 US$ par kWh (0,0009 euro par kWh) produit au Nuclear waste fund (NWF), soit environ de 750 à 800 millions d'US$ par an (de 676 à 721 millions d'euros) afin de couvrir les coûts liés à la gestion de long terme de ces matières. Ce versement a été suspendu en mai 2014 en conformité avec une décision de justice. Le DOE devait en effet mettre une solution de stockage à disposition ou assumer la gestion du combustible usé à compter du 31 janvier 1998. Les exploitants ont engagé des actions en justice à l'encontre du gouvernement fédéral et le montant des dédommagements versés se chiffre à 6,9 milliards d'US$ (soit 6,17 milliards d'euros) selon le DOE et pourrait atteindre 34,1 milliards d'US$ (soit 30,48 milliards d'euros).

Les exploitants ont versé 21,2 milliards d'US$ (soit 18,95 milliards d'euros) au Nuclear waste fund qui rapporte environ 1 milliard d'US$ d'intérêts par an (soit 890 millions d'euros). Fin 2016, 7 milliards d'US$ (soit 6,26 milliards d'euros) ont été dépensés par le DOE pour le projet Yucca Mountain et le fond disposait d'environ 28 milliards d'US$ (environ 25 milliards d'euros).

Selon le plan du DOE, le site d'une capacité supérieure à 70 000 tonnes pouvait être opérationnel en 2021 pour un coût (transport, construction, fonctionnement, fermeture en 2133) de 96 milliards d'US_{2007} (soit 85,81 milliards d'euros).

Une note du Secrétaire d'État à l'énergie de 2013 portant sur l'adéquation des frais payés par les exploitants et de l'estimation du coût du stockage fait état des chiffres suivants :

- sélection du site : 3,260 milliards d'US$ (soit 2,910 milliards d'euros) ;
- caractérisation du site et demande d'autorisation de création : 8,514 milliards d'US$ (soit 7,610 milliards d'euros) ;
- construction : 7,819 milliards d'US$ (soit 6,990 milliards d'euros);
- transport (infrastructure et équipement) : 1,544 milliards d'US$ (soit 1,380 milliards d'euros).

Le même document indique appuyer ses évaluations économiques sur la circulaire Guidelines and discount rates for benefit-cost analysis of federal programs (132).

Annexe 7 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Finlande

7.1 Contexte national

En 2018, la Finlande comptait 5,5 millions d'habitants avec un PIB d'environ 233 milliards d'euros.

7.1.1 Politique énergétique

La Finlande compte 4 réacteurs nucléaires en fonctionnement qui produisent environ 30 % de son électricité (23 TWh en 2016). Un réacteur EPR est en construction à Olkiluoto et un réacteur est en projet à Hanhikivi. La politique énergétique finlandaise vise à supprimer le charbon de son mix énergétique d'ici à 2029. La réglementation finlandaise prévoit depuis 1987 le stockage en couche géologique profonde comme solution de gestion définitive pour le combustible usé.

7.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

En Finlande, les acteurs de la gestion des déchets radioactifs se répartissent comme suit (133) (134) :

La Finlande compte 2 exploitants, TVO et Fortum, qui sont responsables de la gestion des déchets radioactifs qu'ils produisent selon le principe du pollueur-payeur. En cas de défaut d'un exploitant, la responsabilité de la gestion des déchets radioactifs échoit à l'état Finlandais.

Le stockage final des déchets de haute activité est géré par Posiva Oy, une joint-venture entre TVO (60 %) et Fortum (40 %), créée en 1995.

Le **Ministère en charge du commerce et de l'industrie** assure la supervision de fonctionnement des installations nucléaires et de la gestion des déchets radioactifs.

L'**Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection** (STUK), placée sous la responsabilité du gouvernement, assure la régulation et la surveillance des installations nucléaires. Le STUK produit un avis sur les demandes d'autorisations élaborées par les exploitants.

Le **Nuclear energy act** (1987) précise que tout déchet nucléaire produit en Finlande doit être géré en Finlande. Un déchet nucléaire est un déchet radioactif produit dans le cadre de la production d'électricité d'origine nucléaire. La classification finlandaise des déchets radioactifs distingue ainsi les déchets nucléaires et les déchets radioactifs non nucléaires.

En accord avec le Nuclear energy act (1987), la construction d'une installation nucléaire requiert au préalable une décision de principe du Gouvernement (decision-in-principle) qui traduit que le projet contribue au « bien-être » de la société finlandaise.

7.2 Sources, types et quantités de déchets

Le *Nuclear energy act* distingue différentes catégories de déchets radioactifs :

- les déchets de très faible activité (very low level waste, VLLW) : déchets nucléaires dont l'activité massique moyenne n'excède pas 100 kBq/kg et dont l'activité totale n'excède pas 1 TBq (10 GBq en émetteurs alpha) ;
- les déchets de faible activité (low level waste, LLW) : déchets nucléaires pouvant être manipulés sans condition particulière. L'activité massique n'excède pas 1 MBq/kg ;

- les déchets de moyenne activité (intermediate level waste, ILW) : déchets nucléaires dont la manipulation requiert la mise en place de parades spécifiques (radioprotection). L'activité massique varie de 1 MBq/kg à 10 GBq/kg.
- le combustible usé : le combustible usé est classé comme déchet nucléaire de haute activité. Le stockage définitif du combustible usé est la seule option de gestion envisagée.

Par ailleurs, la réglementation élaborée par STUK distingue les déchets à vie courte (activité massique dans 500 ans d'un colis supérieure à 100 MBq/kg et activité massique moyenne d'un emplacement de stockage inférieure à 10 MBq/kg) et les déchets à vie longue (activité massique dans 500 ans de chaque colis inférieur à 100 MBq/kg ou activité massique moyenne d'un emplacement de stockage supérieure à 10 MBq/kg).

7.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

7.3.1 Solutions de gestion actuelle

Les exploitants, TVO et Fortum, sont responsables de la mise en colis et du stockage des déchets de faible et de moyenne activité qu'ils produisent, chacun exploite une installation de stockage dédiée à proximité des centrales, et de l'entreposage du combustible usé réalisé en piscine sur site. Posiva est responsable de la conception et de la construction d'une installation de stockage du combustible usé. Cette installation recevra le combustible des 4 réacteurs en fonctionnement et du réacteur en construction (Olkiluoto 3). En pratique, le combustible usé séjournera de 30 ans à 50 ans en piscine avant transfert dans l'installation de stockage géologique.

La centrale d'Olkiluoto exploite sur son site depuis 1992 un stockage situé entre 60 et 100 mètres de profondeur pour le stockage des déchets de faible et de moyenne activité. Le stockage est constitué de 2 silos pour séparer les déchets de faible activité et ceux de moyenne activité et d'installations auxiliaires. La capacité de stockage devrait être accrue vers 2030.

La centrale de Loviisa exploite sur son site depuis 1998 un stockage situé à environ 110 mètres de profondeur pour le stockage des déchets de faible et de moyenne activité. Le stockage est constitué de 3 tunnels et d'un espace séparé. La capacité de stockage devrait être accrue vers 2030.

7.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

La seule option de gestion définitive envisagée en Finlande pour le combustible usé considéré comme déchet nucléaire de haute activité est le stockage en formation géologique profonde.

La sélection d'un site pour accueillir l'installation a débuté en 2000. La démarche a abouti au lancement de la construction d'une installation souterraine (underground rock characterisation facility) à Olkiluoto entre 2004 et 2012. L'installation compte environ 5 km de galerie à une profondeur de 455 mètres. Le gouvernement a délivré à Posiva en novembre 2015 une autorisation de construction d'une installation de conditionnement et de stockage pouvant accueillir 6 500 tonnes de combustible usé sur le site, correspondant à 50 années de fonctionnement pour les réacteurs de Loviisa 1 et 2 et de 60 années pour ceux de Olkiluoto 1, 2 et 3. Les travaux ont débuté en 2016. Le combustible usé sera placé dans des conteneurs dont l'enveloppe externe est en cuivre. L'espace entre le conteneur et l'alvéole de stockage sera comblé avec de la bentonite qui est un type d'argile. Le fonctionnement de l'installation doit débuter à l'horizon de 2023, pour une fermeture prévue en 2120.

7.3.3 Alternatives envisagées

Aucune alternative n'est envisagée par la Finlande.

7.4 Modalités de financement

Le coût total des activités liées à la recherche d'un site, la construction de l'installation de caractérisation de la roche, la construction de l'installation de stockage, son fonctionnement et les travaux de fermeture et de démantèlement est estimé à environ 3 milliards d'euros.

Les exploitants TVO et Fortum alimentent un fond créé en 1987 par le Nuclear energy act et placé sous l'autorité du Ministère en charge du Commerce et de l'Industrie. Ce fond vise à financer la gestion définitive des déchets nucléaires de haute activité. Le gouvernement fixe le montant annuel des provisions versées par les exploitants. Ce fond vise à financer le stockage géologique des déchets de haute activité et le démantèlement des installations.

Un document de Posiva datant de 2011 fournit les éléments chiffrés suivants :

- coût de construction : 710 millions d'euros ;
- coût de fonctionnement : 2 340 millions d'euros ;
- fermeture et démantèlement : 280 millions d'euros .

Soit un coût total de l'ordre de 3,3 milliards d'euros pour la gestion définitive du combustible usé.

Fin 2014, le fonds disposait de 2,38 milliards d'euros. En 2015, les exploitants ont versé 91 millions d'euros et le fonds a généré un rendement de 25,5 millions d'euros. L'État finlandais considère que les provisions actuelles sont suffisantes pour couvrir l'ensemble des charges à long terme.

Annexe 8 Gestion des déchets de type HA et MA-VL au Japon

8.1 Contexte national

En 2018, le Japon comptait 126 millions d'habitants avec un PIB d'environ 4 212 milliards d'euros.

8.1.1 Politique énergétique

Au début des années 1970, le Japon s'est lancé dans un important programme de développement de l'énergie nucléaire, portant tout à la fois sur l'essor des réacteurs nucléaires ainsi que sur l'ensemble du cycle du combustible. En 1974, le Japon voit la mise en service de son premier réacteur : Takahama I. La construction de nouveaux réacteurs s'est ensuite poursuivie pour représenter en 2011 près de 30 % de la production électrique du pays, avec 52 réacteurs opérationnels. Cependant, la survenue de l'accident de Fukushima, le 11 mars 2011, a très largement remis en question la place du nucléaire dans la politique énergétique nippone. En effet, dès octobre 2011, le gouvernement japonais a cherché à réduire considérablement le rôle de l'énergie nucléaire en proposant un nouveau plan énergétique fondé sur des énergies « vertes » et indépendantes du nucléaire. En juin 2015, la nouvelle stratégie énergétique du pays est adoptée. Cette stratégie prévoit qu'à l'horizon 2030, la part du nucléaire représenterait entre 20 % et 22 % de la production d'électricité du pays, et la part des énergies renouvelables serait quant à elle de 22 % à 24 %. Pour répondre à cette stratégie, des réacteurs nucléaires ont progressivement redémarré à partir de 2015 pour, en février 2019, être au nombre de 8 réacteurs en fonctionnement, produisant environ 6 % de l'électricité du pays. La dernière stratégie énergétique, approuvée en juillet 2018, continue de promouvoir la part de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique d'ici 2030. Cela implique la poursuite des remises en service des réacteurs nucléaires encore à l'arrêt à ce jour.

De 1969 à 2001, le retraitement du combustible usé a été en grande partie opéré à La Hague et à Sellafield. Les déchets vitrifiés issus de ce retraitement ont été retournés au Japon pour y être gérés. Une usine de retraitement, exploitée par JNFL et localisée à Rokkasho-Mura devait démarrer en 2008 puis a été retardée en raison de défauts techniques de vitrification. Le démarrage est prévu, selon JNFL, dans le courant de l'année 2021.

8.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

Au Japon, les acteurs impliqués dans la gestion des déchets radioactifs se répartissent comme suit (135) (136) :

- **Les organismes gouvernementaux** sont au nombre de quatre. La **Commission de l'énergie atomique** (AEC), placée sous l'autorité du premier ministre, s'occupe de définir la stratégie de développement nucléaire du pays et est en charge du budget des activités de R&D associées. Le **Ministère de l'éducation, de la culture, des sports et des sciences et technologies** (MEXT) coordonne les travaux scientifiques et technologiques associés à l'énergie nucléaire et notamment ceux dédiés aux techniques de retraitement du combustible usé. Le **Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie** (METI) est l'interlocuteur principal des producteurs d'électricité. Il assure l'application industrielle des développements de R&D supervisés par le MEXT. Enfin, **l'Agence des ressources naturelles et de l'énergie** (ANRE) est chargée d'élaborer et de planifier la stratégie énergétique du pays. Elle est, à ce titre, la tutelle d'un certain nombre d'organisme comme NUMO.
- **L'autorité de sûreté nucléaire**, **nommée Nuclear regulation authority** (NRA), a été créée en septembre 2012, à la suite de l'accident de Fukushima. La NRA est un bureau indépendant du ministère de l'Environnement (MOE). Son président ainsi que ses commissaires sont nommés par le premier ministre. Globalement, la NRA a pour mission de « protéger le grand public et l'environnement par le biais d'une réglementation rigoureuse et d'activités nucléaires fiables ».

- **Les organismes de recherche** mènent différents travaux de R&D dans la perspective d'un stockage géologique profond. Parmi ces organismes, on retrouve la **Japan atomic energy agency** (JAEA) qui effectue diverses recherches en matière de gestion des déchets radioactifs et du cycle du combustible. **Le Radioactive waste management funding and research center** (RWMC) est placé sous la tutelle du METI. Il conduit des études de R&D dédiées aux techniques de stockage des déchets radioactifs et du combustible usé.
- Au Japon, il existe **plusieurs organismes gestionnaires des déchets**. Chaque type de déchet est en effet confié à un organisme spécifique qui en assure la gestion. Ainsi, la compagnie **Japan Nuclear Fuel Limited** (JNFL), créée par les différentes compagnies d'électricité, est en charge de la réalisation et du fonctionnement des installations du cycle du combustible, localisées sur le site de Rokkasho-mura. Sur ce même site, elle exploite également un centre de stockage des déchets de faible activité. L'organisme semi public **Nuclear waste management organisation** (NUMO) a quant à lui été créé en 2000 et est placé sous la tutelle du METI. Sa mission consiste à identifier un site capable d'abriter un stockage géologique et d'en réaliser sa construction.
- **Les électriciens**, sont au nombre de 10 compagnies électriques dont 9 compagnies régionales (TEPCO, KEPCO, Kyushu Electric Power Company, Tohoku Electric Power Company, Chubu Electric Power Company, Shikoku Electric Power Company, Hokkaido Electric Power Company, Chugoku Electric Power Company et Hokuriku Electric Power Company) et une filiale : JAPCO.

La politique d'utilisation pacifique du nucléaire au Japon est régie par plusieurs textes fondamentaux, à commencer par la loi sur l'énergie atomique (Atomic energy basic act) (137), promulguée en 1955, et la loi sur le fonctionnement des réacteurs (Reactor regulation act) (138), adoptée en 1957. Ces textes limitent de manière très spécifique la recherche, le développement et l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques et donnent l*a priori*té à la sécurité et à la sûreté des installations nucléaires. À noter que suite à l'accident de Fukushima, la loi Reactor regulation act a été révisée en 2012 pour prendre en compte la survenue des catastrophes naturelles ainsi que les possibles actes de malveillance liés aux activités terroristes notamment. Les aspects réglementaires relatifs à la gestion des déchets radioactifs se sont quant à eux développés lors des vingt dernières années. En 2000, une loi sur le stockage des déchets radioactifs de haute activité (Final disposal act) a ainsi été publiée pour fixer les conditions de réalisation du stockage dédié aux déchets vitrifiés. Cette loi est à l'origine de la création du Nuclear waste management organisation. En 2007, cette loi a été amendée pour prendre en compte les déchets transuraniens dans le projet de stockage, en plus des déchets vitrifiés.

8.2 Sources, types et quantités de déchets

Au Japon, la majeure partie des déchets radioactifs provient de l'industrie électronucléaire. Ces déchets sont répartis en deux catégories principales :

- les déchets de faible activité (low level waste, LLW) subdivisé en plusieurs catégories :
  - ✓ les déchets de très faible activité provenant essentiellement du démantèlement ;
  - ✓ les déchets de faible activité comprenant des métaux ou liquides conditionnés en fûts de béton ;
  - ✓ les déchets de plus haute activité comportant une plus grande quantité d'émetteurs bêta et gamma ;
  - ✓ les déchets transuraniens (TRU) comportant une quantité relativement importante d'émetteurs alpha ;
- les déchets de haute activité (high level waste, HLW) qui comprennent les déchets vitrifiés issus du retraitement du combustible usé.

Fin 2017, environ 18 398 tonnes de combustible usé étaient stockées sur les différents sites des centrales, en attendant leur retraitement. De même, 2 448 colis de déchets vitrifiés ainsi que 373 m^3 de déchets liquides de haute activité sont stockés actuellement sur des sites d'entreposage temporaire. Enfin, au sein des différentes centrales, environ 140 000 m^3 de déchets de faible activité sont entreposés.

À noter qu'à la suite de l'accident de Fukushima, de nombreux réacteurs ont été arrêtés de manière définitive. Le démantèlement de ces réacteurs, ainsi que la décontamination issue de l'accident vont produire d'importantes quantité de déchets radioactifs dans les années à venir.

8.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

Pour les deux catégories de déchets radioactifs mentionnées ci-dessus, le Japon y associe deux types d'installation de stockage :

- une installation en surface, ou semi-enterrée, ou à faible profondeur (100 mètres) pour les déchets de faible activité ;
- une installation en milieu géologique profond pour les déchets de haute activité.

8.3.1 Solutions de gestion actuelle

Au Japon, chaque centrale entrepose des déchets radioactifs de faible et moyenne activité, ainsi que du combustible usé sur son site de production, en attendant leur stockage et leur prise en charge dans des installations définitives.

En ce qui concerne les déchets de faible activité provenant des centrales nucléaires, il existe une installation de stockage définitif mise en service en décembre 1992 dont le fonctionnement est assuré par JNFL. Cette installation de stockage est localisée à Rokkasho-Mura, à proximité de la centrale d'Higashidori, au nord de l'île d'Honshu. Le concept de cette installation est basé sur la construction d'alvéoles enterrées à quelques dizaines de mètres sous le niveau du sol et qui, une fois remplies, sont bétonnées et tapissées d'un couvert végétal. La capacité totale du site est aujourd'hui de 80 000 m^3 et peut, à terme, atteindre 600 000 m^3. En octobre 2017, l'installation stockait 52 000 m^3 de déchets de faible activité.

En ce qui concerne les déchets vitrifiés (déchets de haute activité), issus du retraitement du combustible usé opéré à La Hague et à Sellafield, ils sont entreposés sur le site de Rokkasho-Mura pour une durée de trente à cinquante ans. Une fois refroidis, il est prévu que ces déchets soient déposés en stockage géologique profond.

À noter qu'un stockage de déchets de « plus haute activité » comportant une quantité plus importante d'émetteurs bêta et gamma est en cours d'étude. Le concept serait de stocker ces déchets entre 50 et 100 mètres de profondeur, toujours sur le site de Rokkasho-Mura.

8.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute activité

Le programme de R&D dédié à la gestion des déchets de haute activité a débuté au Japon dès 1976 et a abouti, en 2000, à la publication du Final disposal act (136). Cette loi impose le stockage géologique profond comme solution de gestion définitive des déchets vitrifiés et, suite à un amendement de 2007, des déchets transuraniens. Pour mettre en œuvre un tel stockage, le NUMO est créé et lance dès 2002 un appel à candidature des municipalités favorables pour abriter un stockage géologique de déchets radioactifs. Près de 3 200 communes ont alors été sollicitées. L'idée était d'identifier d'ici 2012 les sites adaptés pour abriter un stockage géologique profond, puis mener des investigations spécifiques pour *in fine* retenir un site unique d'ici 2030 ; la mise en service du stockage étant initialement prévue d'ici 2040. Cependant, l'appel à candidature lancé par NUMO n'a reçu aucune réponse. Dans un tel contexte, le gouvernement Japonais a décidé de s'impliquer davantage dans la gestion définitive des déchets de haute activité. Le Final disposal act a ainsi été revu en mai 2015 pour tenter de répondre à certaines préoccupations de la population japonaise. Le concept de stockage géologique se devra désormais d'être réversible, et les déchets devront être récupérables, pour permettre aux générations futures d'opter à l'avenir pour une autre solution de stockage qui s'avérerait plus judicieuse. En parallèle, afin d'engager

le plus en amont possible le dialogue avec le territoire susceptible d'abriter le stockage géologique, il a été décidé d'établir une cartographie nationale des zones adaptées à recevoir un tel stockage. Coordonné par l'ANRE (METI), un groupe d'experts indépendants a été créé pour définir cette cartographie qui a été publiée sur le site du NUMO en juillet 2017. La carte identifie :

- les régions susceptibles de répondre aux exigences géologiques requises pour l'hébergement d'un stockage profond (représentant au total les deux tiers du territoire japonais) ;
- les régions inadaptées à un tel stockage en raison de leur proximité avec des volcans ou des failles actives.

À noter que les régions dotées de ressources minérales potentiellement exploitables dans le futur ont été considérées comme régions inadaptées. De même, les préfectures de Fukushima et d'Aomori (site de Rokkasho-Mura) ont été exclues du processus de sélection afin de leur éviter un « fardeau » supplémentaire. À l'heure actuelle, NUMO prévoit une première sélection de sites potentiels d'ici 2025 et une mise en service du stockage d'ici 2035.

Dans cette installation, il est prévu de stocker plus de 40 000 conteneurs de déchets vitrifiés pendant au minimum 40 ans. La durée de fonctionnement du stockage est prévue pour 60 ans et devra être suivie d'une période de surveillance de 300 ans. En ce qui concerne les aspects techniques du stockage, le milieu retenu pour sa construction sera constitué soit d'une couche sédimentaire, soit d'une couche cristalline, située entre 100 et 1 000 mètres de profondeur. Pour mener à bien ses travaux de recherche, JAEA possède deux laboratoires souterrains. Le laboratoire souterrain Horonobe, sur l'île d'Hokkaido, est situé à 500 mètres de profondeur et permet d'étudier les roches sédimentaires. Le laboratoire souterrain de Mizunami (MIU) est situé au centre de l'île d'Honshu à 1 000 mètres de profondeur dans du granit.

À noter que NUMO travaille également sur les concepts de réversibilité du stockage et de récupérabilité des déchets. Le concept « CARE » (Caverne Retrievable) est en cours de réflexion. Il comprendrait deux étapes distinctes :

- la mise en place de galeries ventilées avec stockage des déchets dans des conteneurs blindés accessibles pendant 300 ans ;
- le remblayage et scellement des galeries si aucune autre solution de stockage plus adaptée n'a été trouvée durant cette période.

8.4 Modalités de financement

Au Japon, le mode de financement de la gestion des déchets radioactifs varie en fonction de la nature du stockage et des déchets. Pour ce qui concerne le stockage géologique profond, ses modalités de financement sont fixées par la loi sur le versement et la gestion de fonds de retraitement des combustibles usés (136). Un fonds de réserve a été créé à cet effet et est géré par le RWMC. Ce fonds est alimenté par les producteurs d'électricité qui, chaque année, verse à NUMO une somme correspondant au nombre de conteneurs en verre (calculé sur la base du combustible utilisé dans l'année) que NUMO devra stocker par la suite. Cette somme correspond à environ 0,2 yen/kWh (soit 0,0017 euros/kWh) et est versée par NUMO au fonds géré par le RWMC. En 2015, le fonds était estimé à une valeur de 1 000 milliards de yen (soit 8,37 milliards d'euros). Le projet de stockage géologique est estimé quant à lui à 3 000 milliards de yen (soit 25,11 milliards d'euros).

Annexe 9 Gestion des déchets de type HA et MA-VL aux Pays-Bas

9.1 Contexte national

En 2018, les Pays-Bas comptaient 17 millions d'habitants avec un PIB de l'ordre 774 milliards d'euros.

9.1.1 Politique énergétique

Les Pays-Bas disposent d'un réacteur nucléaire à Borssele qui produit 3,5 % de l'électricité, soit 4 TWh en 2015. La centrale nucléaire de Doodewaard a été mise à l'arrêt définitif en 1997. Le combustible usé de cette centrale a été retraité à Sellafield, celui de Borssele à La Hague. Les Pays-Bas disposent d'une installation d'enrichissement de l'uranium à Almelo exploitée par Urenco.

La majorité de l'électricité produite aux Pays-Bas provient du gaz et du charbon. Le pays s'est engagé dans une politique énergétique favorisant la production décarbonée d'électricité et accordant une place importante à l'éolien offshore en particulier. Plusieurs projets de nouveaux réacteurs ont été évoqués dans les années 2000 et 2010, mais actuellement aucune nouvelle construction n'est à l'ordre du jour.

Les Pays-Bas disposent de réacteurs de recherche dont le High flux reactor (HFR) à Petten qui produit des isotopes employés à des fins médicales (60 % du marché européen). Le High flux reactor devrait être remplacé à terme par le réacteur Pallas dont la construction a été confié à la société Invap.

9.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

La loi sur l'énergie nucléaire de 1963 fixe les règles d'utilisation des matériaux nucléaires. Un processus de révision a été engagé en 2006. Le Ministère des affaires économiques a la responsabilité de la politique énergétique, incluant la politique nucléaire. Les Pays-Bas ne disposent pas d'une loi spécifique sur la gestion des déchets radioactifs, ils disposent d'un décret sur la radioprotection et d'un décret sur les installations nucléaires, les matières fissiles et les minerais.

Dans les années 1970, les Pays-Bas ont choisi une politique de retraitement du combustible usé des réacteurs de Doodewaard et de Borssele. En 1984, le gouvernement a opté pour une stratégie d'entreposage de longue durée (100 ans) de tous les déchets radioactifs accompagnée d'un programme de recherche visant à définir la meilleure stratégie pour la gestion ultime de ces déchets. Cette stratégie a été validée par le Parlement.

Aux Pays-Bas, les acteurs impliqués dans la gestion des déchets radioactifs sont les suivants (139) (140) (141) :

- l'**organisme en charge de la gestion des déchets radioactifs Covra**, créé en 1982 et basé à Borssele, est une entreprise publique ;
- l'**Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection** (ANVS) a été créée en 2014 et est placée sous la responsabilité du Ministère en charge des infrastructures et de l'environnement. Elle est devenue complètement indépendante le 1er août 2017 ;
- le **Nuclear research and consultancy group (NRG)** réalise des travaux de recherche dans le domaine nucléaire (réacteur à haute température, transmutation des actinides et développement de combustibles MOX). NRG exploite le High flux reactor de Petten.

9.2 Sources, types et quantités de déchets

L'inventaire néerlandais des déchets radioactifs distingue le combustible usé, les déchets de haute activité (high level waste, HLW), les déchets de moyenne activité (intermediate level waste, ILW), les déchets de faible activité (low level waste, LLW) et les déchets à radioactivité naturelle renforcée (NORM).

Au 31 décembre 2016, les quantités suivantes de déchets étaient entreposées dans les installations de Covra :

- déchets de faible et moyenne activité (LLW) : 11 109 m³ ;
- déchets de haute activité (hors combustible usé - HLW) : 91 m³,
- déchets à radioactivité naturelle renforcée (NORM) : 20 622 m³.

Les combustibles usés sont entreposés à Bortssele, Petten et Delft.

9.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

9.3.1 Solutions de gestion actuelle

Le tableau ci-dessous indique les lieux d'entreposage des déchets radioactifs néerlandais.

Tableau Annexe 9.3-1 Lieux d'entreposage des déchets radioactifs

Lieu	Installation	Commentaires
Nieuwdorp	Entreposage à sec de combustibles usés	Installation HABOG[85] exploitée par Covra
	Entreposage à sec de déchets de haute activité	Installation HABOG exploitée par Covra
	Entreposage à sec de déchets de faible et moyenne activité	Installations AVG et LOG exploitées par Covra
	Entreposage à sec de déchets NORM	Installation COG exploitée par Covra
	Entreposage à sec de U3O8 appauvri	Installations VOG et VOG-2 exploitées par Covra
Borssele	Entreposage en piscine du combustible usé	Refroidissement en centrale du combustible usé avant transport en France pour retraitement
Petten	Entreposage en piscine du combustible usé	Entreposage du combustible usé avant transport à HABOG
	Entreposage à sec de combustible usé (héritage)	En attente de transport vers HABOG
	Entreposage à sec de déchets de haute activité	En attente de transfert à COVRA
Delft	Entreposage en piscine du combustible usé	En attente de transport vers HABOG
Nauerna et Rotterdam	Stockage de déchets NORM	Installations de stockage dédiées

9.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets radioactifs

Le gouvernement néerlandais, en application des décisions de 1984, s'oriente vers le stockage géologique, dans 100 ans, comme option de gestion définitive de l'ensemble des déchets radioactifs

[85] L'entreposage HABOG dispose de deux compartiments, l'un abritant les déchets de moyenne activité et le second les déchets de haute activité, dont l'inventaire est constitué des déchets vitrifiés issus du retraitement du combustible usé et des autres déchets retournés par Sellafield et La Hague.

géré par Covra. La mise en place d'un tel projet devra s'appuyer sur un processus à plusieurs étapes réversibles et aboutir à une décision vers 2100 et un début de fonctionnement vers 2130.

9.3.3 Alternatives envisagées

La trajectoire décrite ci-dessus est flexible et le gouvernement pourrait opter pour une solution alternative si elle venait à se présenter dans le siècle à venir (comme le stockage international pour les déchets de haute activité, le stockage en surface pour les déchets de faible activité, etc.). Les Pays-Bas sont ainsi membres du réseau européen European repository development organisation (ERDO) qui étudie les solutions de stockage géologique partagé. Récemment, dans le cadre de ses activités à l'international sur le sujet, le gouvernement a décidé d'investiguer plus avant les conditions d'importations et d'exportations de déchets radioactifs.

9.4 Modalités de financement

Le programme de recherche sur la gestion à long terme des déchets radioactifs est piloté par Covra et financé par le gouvernement et l'industrie nucléaire. Le programme Opera disposait ainsi d'une enveloppe de 10 millions d'euros.

Le financement de la gestion des déchets est assuré suivant le principe du pollueur-payeur. La facturation des services de Covra couvre ainsi le coût associé au traitement, à l'entreposage et au stockage géologique des déchets radioactifs qui lui sont confiés. Par ailleurs, les producteurs ont financé la construction des installations HABOG et VOG-2.

Covra a estimé en 2016 que le coût de construction du stockage géologique serait de l'ordre de 2 milliards d'euros. Les provisions sont constituées d'ici à 2130 en s'appuyant sur un taux d'inflation de 2 % et un rendement du fonds de 4,3 %. Ces éléments sont révisés périodiquement.

Annexe 10 Gestion des déchets de type HA et MA-VL au Royaume-Uni

10.1 Contexte national

En 2018, Le Royaume-Uni comptait 65 millions d'habitants avec un PIB d'environ 2 424 milliards d'euros.

10.1.1 Politique énergétique

Le Royaume-Uni compte 15 réacteurs nucléaires (9,5 gigawatt électrique) qui produisent environ 20 % de l'électricité britannique (72 TWh en 2016). Tous sont exploités par EDF Energy. La politique énergétique visant à réduire les émissions à effet de serre, la place du nucléaire dans le mix énergétique s'est trouvée confortée au milieu des années 2000, se traduisant en particulier par le lancement du chantier Hinkley Point C (deux EPR) après octroi d'une licence par l'Office of nuclear regulation en novembre 2012.

Une usine de retraitement du combustible usé des réacteurs Magnox située à Sellafield a été exploitée de 1964 à 2018, traitant 9 331 tonnes de combustibles usés dont 60 % produites par les centrales britanniques.

Jusqu'en 1982, des déchets de faible et moyenne activité ont été déposés dans les fonds marins (fosses océanique). Le gouvernement britannique a signé en 1993 une convention internationale interdisant l'immersion de tout type de déchets radioactifs dans la mer.

10.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

Les principaux textes législatifs portant sur les installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs sont The energy act (2004 et 2013), Health and safety at work act (1974) et Nuclear installations act (1965) (142).

Au Royaume-Uni, les acteurs impliqués dans la gestion des déchets radioactifs sont les suivants (143) (144) :

- **l'Office for nuclear regulation** (ONR) dont l'objet, les moyens et les fonctions sont établis par The energy act de 2013, est **l'autorité en charge de la sûreté nucléaire** (entre autres) ; l'autorisation de création d'une installation nucléaire est de la responsabilité de l'ONR. L'ONR est une agence du régulateur indépendant Health and safety executive (HSE) ;
- créé en 1982, Nirex (puis Nirex Limited) a pour responsabilité de travailler sur le stockage en tranchée des déchets de faible et moyenne activité à vie courte et sur le stockage en formation géologique des déchets de moyenne activité à vie longue. La création du Nirex et son objet a fait suite à un moratoire de 50 ans sur le stockage des déchets de haute activité ;
- fin 2001, le gouvernement britannique a annoncé la création d'une **autorité en charge de la gestion des passifs de l'industrie nucléaire civile**. Le 1er avril 2005, le **National decommissioning authority** (NDA, instauré par The energy act de 2004) est ainsi devenu propriétaire de 11 sites abritant des réacteurs Magnox, les installations du cycle du combustible de BNFL, incluant le site de Sellafield (retraitement du combustible usé) et le centre de stockage pour les déchets de faible activité de Drigg (LLW repository) et les sites de Dounreay, Harwelll et Winfrith (centres de recherche de United Kingdom atomic energy authority). Le NDA porte la responsabilité du démantèlement des installations nucléaires et de la gestion par stockage des déchets radioactifs ;
- le NDA a mis en place en 2007 le Radioactive waste management directorate (RWMD puis RWM Limited) pour développer dans un premier temps le concept de stockage géologique pour les déchets de haute et moyenne activité puis, par la suite, construire et exploiter cette installation. Les activités de Nirex Limited sur le stockage ont été reprises par le RWMD ;

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

- le **Committee on radioactive waste management** (CoRWM) a été créé en 2003 et **conseille le gouvernement** spécifiquement sur le stockage en couche géologique profonde et sur les options d'entreposage à long terme. Le comité est constitué de 12 membres aux profils variés ;
- la **Direction de l'énergie et du changement climatique** (DECC) valide dans le cas des nouveaux projets nucléaires **les éléments relatifs au financement** de la gestion des déchets radioactifs, du combustible usé et du démantèlement présenté par l'exploitant. Cette disposition vise en particulier à minimiser le risque de recours à des fonds publics.

10.2 Sources, types et quantités de déchets

La majorité des déchets radioactifs britanniques sont liés au développement historique de l'énergie nucléaire et à la production d'électricité nucléaire.

Selon la législation britannique, un déchet radioactif est un déchet contenant des radionucléides naturels ou artificiels dont la concentration excède les valeurs définies par la réglementation sur la base du rapport Radiation protection 122 de la Commission européenne (145). Cette réglementation distingue :

- les déchets de très faible activité (very low level waste, VLLW) sont une sous-catégorie des déchets de faible activité (low level waste, LLW) :
  - ✓ en cas de volume faible : ces déchets radioactifs peuvent être stockés de manière sûre dans une décharge conventionnelle, avec une activité pour 0,1 m^3 de déchet n'excédant pas 400 kBq (4 000 kBq de ^3H et ^{14}C) ou une activité de tout objet ne contenant pas plus de 40 kBq (400 kBq de ^3H et ^{14}C) ;
  - ✓ en cas de volume significatif : ces déchets radioactifs peuvent être stockés en décharge conventionnelle, avec une activité maximale de 4 MBq/t (40 MBq/t pour ^3H) ;
- les déchets de faible activité (low level waste, LLW) dont l'inventaire radiologique n'excède pas 4 GBq/t en émetteur alpha et 12 GBq/t en émetteurs bêta et gamma ;
- les déchets de moyenne activité (intermediate level waste, ILW) dont le niveau de radioactivité excède la borne haute définie pour les déchets de faible activité mais dont la température n'est pas à prendre en compte pour la conception des installations d'entreposage et de stockage ;
- les déchets de haute activité (high level waste, HLW) dont la température est significativement élevée du fait de la radioactivité et doit être pris en compte pour la conception des installations d'entreposage et de stockage.

En termes de quantités, l'inventaire au 1er avril 2016 fait état de :

- 30 100 m^3 de déchets de faible activité ;
- 99 000 m^3 de déchets de moyenne activité ;
- 1 960 m^3 de déchets de haute activité.

Les projections à 2125 font état des quantités suivantes (hors déchets de haute activité) :

- 2 860 000 m^3 de déchets très faible activité ;
- 1 320 000 m^3 de déchets de faible activité ;
- 191 000 m^3 de déchets de moyenne activité.

10.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

10.3.1 Solutions de gestion actuelle

LLWR Limited (sous contrat avec le National decommissioning authority) dispose d'une autorisation pour le stockage de déchets radioactifs de faible activité dans l'installation localisée à Drigg près de Sellafield. Le stockage est exploité depuis 1959. Depuis 2015, le site de Dounreay en Ecosse abrite également une installation de stockage pour les déchets de faible activité destinée à accueillir les déchets produits par le démantèlement de ses installations.

Les déchets de moyenne activité sont entreposés à Sellafield et d'autres sites dans l'attente d'une solution de stockage définitif. Un nouvel entreposage d'une capacité de 2 500 m^3 est prévu à Harwell.

Les déchets de haute activité, dont l'inventaire est principalement constitué des déchets vitrifiés issus du traitement du combustible usé, sont entreposés à Sellafield. Le combustible usé issu du réacteur Sizewell B est entreposé à sec sur le site.

10.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

En 2001, le gouvernement britannique a engagé le programme Managing radioactive waste safely (MRWS). A l'issue d'une consultation publique, un comité indépendant, le Committee on radioactive waste management (CoRWM) fut mis en place pour recommander des options pour la gestion sur le long terme des déchets de haute et moyenne activité. À l'issue de trois années de délibération, le CoRWM recommanda le stockage géologique.

Le processus de sélection d'un site, lancé au début des années 2010, s'appuyait sur une invitation d'expression d'intérêt des municipalités. Le processus prévoyait que lorsqu'une candidature serait retenue, il s'en suivrait 10 années de recherche en surface puis 15 années de recherche en souterrain et de construction de l'installation. Après l'échec d'un premier appel à candidature, un nouveau processus a été lancé par le gouvernement en 2019. Le RWMD estime que le processus de sélection et de caractérisation d'un site devrait s'étaler sur 15 ans à 20 ans.

En 2015, le gouvernement britannique a désigné le stockage géologique comme Nationally significant infrastructure project. Cette procédure doit permettre notamment d'accélérer les démarches administratives d'octroi d'une licence pour l'installation qui devra recevoir les déchets produits par les installations en fonctionnement et les installations en construction.

10.3.3 Alternatives envisagées

Le Royaume-Uni n'envisage pas à l'heure actuelle d'option alternative au stockage géologique mais réalise périodiquement une revue des solutions alternatives et de l'état des recherches à l'international. Ainsi, le National decommissioning authority a publié en mars 2017 un rapport intitulé Geological disposal : review of alternative radioactive waste management options. Le document porte sur quatre options : entreposage de longue durée, traitement des déchets pour en réduire le volume et la toxicité, stockage en sub-surface et forage profond. Il y est indiqué en conclusion qu'en l'état actuel des connaissances, aucune de ces options ou combinaison d'options ne permet d'exclure la nécessité d'un stockage géologique.

10.4 Modalités de financement

En 2019, le National decommissioning authority estime le coût de gestion des sites dont il a la propriété à 124 milliards de livres (soit 135 milliards d'euros) sur les 120 prochaines années, les différentes

évaluations allant de 99 milliards à 232 milliards de livres (118 à 276 milliards d'euros). Cette évaluation couvre le démantèlement, la remédiation des sites et la gestion des déchets.

Le coût brut du stockage géologique est estimé à 12 milliards de livres (soit environ 13,1 milliards d'euros) ce coût incluant la conception, la construction, le fonctionnement (à partir de 2040) et la fermeture de l'installation (vers 2100). Le processus de sélection d'un site devrait aboutir vers 2025.

Le démantèlement et la gestion des déchets radioactifs des réacteurs en fonctionnement est à la charge de l'exploitant EDF Energy. Le coût associé est estimé à 20 milliards de livres (soit 23,8 milliards d'euros). Fin 2018, le fonds dédié (Nuclear liabilities fund) disposait de 9,261 milliards de livres (soit 11 milliards d'euros).

Le fonctionnement des futurs réacteurs produira des déchets radioactifs destinés au stockage géologique. Conformément à The energy act de 2008, l'exploitant doit élaborer un plan de financement pour la gestion de ces déchets et alimenter en conséquence le Nuclear liabilities fund. In fine, la responsabilité de la gestion des déchets de moyenne et haute activité sera transférée au gouvernement moyennant finances (environ 1,1 milliards de livres, soit environ 1,3 milliards d'euros) pour un réacteur à eau pressurisée de 1 350 MWe[86]).

[86] Megawatt électrique.

Annexe 11 Gestion des déchets de type HA et MA-VL et en Russie

11.1 Contexte national

En 2018, la Russie comptait près de 147 millions d'habitants avec un PIB d'environ 1 404 milliards d'euros.

11.1.1 Politique énergétique

La Russie compte 36 réacteurs en fonctionnement (29 gigawatt électrique installés) qui produisent environ 20 % de l'électricité (18,4 % en 2018). En 2019, six réacteurs sont en construction, 24 sont planifiés et 22 sont en projet.

La planification énergétique prévoit un rôle croissant des réacteurs à neutrons rapides dès les années 2020 et un recyclage important du combustible usé afin de bruler les actinides et de limiter la consommation d'uranium. Environ 100 tonnes de produits de fission produits annuellement seraient alors destinés au stockage géologique.

11.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

Les deux lois encadrant les activités nucléaires en Russie sont la Loi fédérale sur l'utilisation de l'énergie atomique (1995 (146)) et la Loi fédérale sur la sécurité radiologique des populations (1996). Cette seconde loi est supervisée par le Ministère fédéral de la santé.

En Russie, les acteurs impliqués dans la gestion des déchets radioactifs sont les suivants (147) (148) :

L'autorité en charge de la sûreté nucléaire, mise en place en 1992, est **Rostekhnadzorest** ; elle est placée sous l'autorité directe du gouvernement depuis 2010.

En juin 2011, le parlement russe, la Duma, a voté une loi fédérale qui établit le cadre législatif dans lequel s'inscrit la gestion des déchets radioactifs en Russie. La loi établit la durée de fonctionnement des entreposages, les limites sur les volumes de déchets produits, les modalités de conditionnement et de transfert de déchets et le financement de ces activités par la mise en place d'un fonds dédié géré par Rosatom.

Rosatom est une entreprise publique créée en 2007 pour prendre en charge l'ensemble des **activités nucléaires civiles et militaires de la Russie**, soit plus de 350 organisations et sociétés. FSUE RosRAO est une société créée en 2009 détenue par Rosatom et spécialisée dans le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets de faible et moyenne activité.

Rosatom et FSUE NO RAO, agence fédérale russe en charge de la gestion des déchets radioactifs créée en 2012, coordonnent les travaux associés à la gestion et donc au stockage des déchets radioactifs produits par le cycle électronucléaire et la défense. FSUE NO RAO est l'unique organisation autorisée à exploiter des installations de stockage définitif de déchets radioactifs. Le prix des services fournis par FSUE NO RAO est fixé par le Ministère en charge des ressources naturelles.

11.2 Sources, types et quantités de déchets

La loi sur les déchets de 2012 fournit les éléments de catégorisation des déchets radioactifs suivants :

- classe 1 : déchets radioactifs solides de haute activité devant être stockés en formation géologique profonde après une période d'entreposage visant à réduire leur puissance thermique ;

- classe 2 : déchets radioactifs solides de haute et moyenne activité à vie longue (contenant des radionucléides avec une période radioactive supérieure à 31 ans) devant être stockés en formation géologique profonde sans période d'entreposage préalable ;
- classe 3 : déchets radioactifs solides de moyenne et faible activité à vie longue (contenant des radionucléides avec une période radioactive supérieure à 31 ans) devant être stockés en subsurface (profondeur jusqu'à 100 mètres) ;
- classe 4 : déchets radioactifs solides de faible et très faible activité devant être stockés en surface ;
- classe 5 : déchets radioactifs liquides de moyenne et faible activité devant être stockés en puits profonds ;
- classe 6 : déchets radioactifs produits par les activités minières et le traitement des minerais d'uranium ou produits à l'extérieur de l'industrie nucléaire devant être stockés en surface.

Fin 2016, l'inventaire russe de déchets radioactifs sur le territoire fait état de 556 106 m^3 correspondant à une activité totale de 114.10^{+20} Bq (147). A Mayak, le traitement du combustible usé a produit environ 2 500 m^3 de déchets vitrifiés de haute activité. Environ 32 106 m^3 de déchets radioactifs doivent être gérés dans le cadre du programme supervisé par FSUE NO RAO, pour un coût de 4,2 milliards d'euros dont 80 % sont financés par les exploitants et 20 % par le budget fédéral. En 2013, environ 24 000 tonnes de combustibles usés étaient en attente d'un exutoire (recyclage et/ou stockage).

Dans le second plan fédéral sur la sûreté nucléaire et la radioprotection approuvé par le gouvernement en novembre 2015 sur la période 2016-2030, Rosatom indique que l'enjeu principal est la gestion de l'héritage de l'époque soviétique dans laquelle a été investi 123 milliards de roubles sur 2008-2015 (environ 1,7 milliards d'euros). Sur les 576 milliards de roubles du second plan, 20 % (soit environ 1,6 milliards d'euros) sont alloués à la création d'infrastructures pour la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs, incluant le stockage géologique pour les déchets de haute activité.

11.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

11.3.1 Solutions de gestion actuelle

L'importation tout comme l'exportation de déchets radioactifs sont proscrits par la loi.

Les déchets de faible et de moyenne activité (correspondant aux classes 3 et 4) sont stockés dans 16 installations de stockage exploitées par Radon (FSUE NO RAO). Des capacités supplémentaires sont attendus pour ces déchets :

- 214 000 m^3 à Ozersk ;
- 150 000 m^3 à Tomsk ;
- 150 000 m^3 à Novouralsk ;
- 50 000 m^3 à Sosnovy Bor.

Il convient de noter que la Russie a, durant plusieurs années, injecté des déchets de faible et moyenne activité dans des puits profonds (entre 300 et 1 500 mètres), principalement à Seversk (30 106 m^3), Zheleznogorsk et Dimitrovgrad. Cette modalité de gestion qui repose uniquement sur la roche hôte pour assurer le confinement du déchet (pas de colis, pas de barrière ouvragée) n'a pas été proscrite et Figure dans la loi de 2011. En août 2016, le stockage en puits profonds de 50 106 m^3 de déchets radioactifs liquide a été approuvé.

11.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

Actuellement, il n'y a pas d'installation de stockage pour les déchets de haute activité et les déchets solides de moyenne activité à vie longue.

Un processus de sélection de site a permis d'identifier 30 implantations potentielles dans 18 régions. En 2008, le massif granitique de Nizhnekansky à Zheleznogorsk dans le territoire de Krasnoyarsk a été proposé pour accueillir une installation de stockage en formation géologique profonde. En août 2016, le schéma de planification énergétique à 2030 de la région a confirmé le site et la construction d'un stockage pouvant accueillir 4 500 m³ de déchets de haute activité de classe 1 et 155 000 m³ de déchets haute et moyenne activité à vie longue de classe 2. FSUE NO RAO prévoit de construire un laboratoire de recherches souterrain dans le massif granitique de Nizhnekanksky et d'y effectuer 9 années de recherches.

La première tranche du stockage devrait permettre d'accueillir de manière réversible 20 000 tonnes de déchets de moyenne et haute activité.

11.3.3 Alternatives envisagées

En mars 2015, la société Energospetsmontazh a annoncé l'engagement d'essai de traitement de déchets solides de faible et de moyenne activité par torche à plasma.

La stratégie nucléaire russe parait comme la plus ambitieuse et la plus avancée en termes de traitement du combustible dans une optique de réduction du volume et de la toxicité des déchets destinés au stockage géologique (traitement du combustible mix U Pu REMIX au Complexe MCC à Krasnoyarsk, etc.). Pour autant, il est reconnu que cette stratégie ne permet pas de s'affranchir d'un stockage géologique.

11.4 Modalités de financement

Depuis la loi sur les déchets de 2011, tout déchet radioactif produit par les exploitants est géré suivant le principe pollueur-payeur. L'État russe est « propriétaire » de tous les déchets radioactifs produits avant le 15 juillet 2011.

Les coûts de stockage ont été définis comme suit en 2016 par le ministère en charge des Ressources naturelles et de l'Environnement :

- classe 1 : 1 246 510 roubles/m³ (16 792 euros/m³) ;
- classe 2 : 566 954 roubles/m³ (7 638 euros/m³) ;
- classe 3 : 132 681 roubles/m³ (1 787 euros/m³) ;
- classe 4 : 37 520 roubles/m³ (505 euros/m³) ;
- classe 5 : fonction de l'origine : 6 675 ou 1 102 ou 508 roubles/m³ (90 ou 15 ou 7 euros/m³) ;
- classe 6 : 175 roubles/m³ (2 euros/m³).

Annexe 12 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Suède

12.1 Contexte national

En 2018, la Suède comptait 10 millions d'habitants avec un PIB d'environ 471 milliards d'euros.

12.1.1 Politique énergétique

La Suède exploite 8 réacteurs nucléaires répartis sur 3 sites et produisant environ 40 % de son électricité (63 TWh en 2016). Trois exploitants sont recensés : Vattenfall, E.On Sweden AB et Fortum Oy. La Suède prévoit la fermeture de ses réacteurs d'ici à 2045 et n'envisage pas à l'heure actuelle la construction de nouvelles installations, même si le débat sur cette question ne semble pas clos. Le cycle électronucléaire suédois est ouvert : il n'y a pas de retraitement du combustible usé.

12.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

En Suède, les acteurs impliqués dans la gestion des déchets radioactifs sont les suivants (149) (150) :

- Selon la législation suédoise (The act on nuclear activities, 1984 (151)), **les producteurs de déchets radioactifs** ont la responsabilité du financement de la gestion de ces déchets et doivent, sur la base d'un programme de R&D, développer un « système » de stockage définitif pour le combustible usé et les déchets radioactifs, en application du principe du pollueur-payeur ;
- La **Swedish nuclear fuel and waste management company, SKB,** a été créé en 1972 par les exploitants. SKB est chargé de la **gestion des déchets radioactifs et du combustible usé** en Suède. Ainsi, SKB conçoit et exploite les installations d'entreposage et de stockage pour tout type de déchets radioactifs. SKB est ainsi responsable du laboratoire souterrain d'Aspö où sont réalisées des recherches sur le stockage géologique en formation granitique. Tous les 3 ans, SKB présente son programme de R&D au gouvernement qui doit l'approuver.
- L'**Autorité suédoise de sûreté nucléaire**, **SSM**, est le régulateur suédois depuis 2008. SSM a été créé à partir de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (SKI) et de l'Autorité en charge de la Radioprotection (SSI).
- Le **Conseil national suédois sur les déchets nucléaire** est un comité pluridisciplinaire (éthique, sciences naturelles, sciences sociales, etc.) qui élabore entre autres des recommandations à l'attention du gouvernement suédois sur le stockage des déchets radioactifs et du combustible usé.

12.2 Sources, types et quantités de déchets

La Suède ne dispose pas d'une classification réglementaire pour les déchets radioactifs. SKB a développé un système de classification pour l'industrie nucléaire (déchets de haute activité, déchet de faible et moyenne activité à vie longue, déchet de moyenne activité à vie courte, déchet de faible activité à vie courte).

Le combustible usé, après déchargement et entreposage dans une installation dédiée, est considéré comme un déchet et constitue l'essentiel de l'inventaire des déchets de haute activité.

12.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

12.3.1 Solutions de gestion actuelle

Les déchets radioactifs à vie courte produits par les exploitants sont stockés à Forsmark depuis 1988 dans l'installation SFR, d'une capacité de 63 000 m³, qui accueille également les déchets d'autres secteurs, en particulier du médical. SKB a déposé une demande d'autorisation de création d'une nouvelle installation de ce type (SFR 2), toujours à Forsmark, afin de faire face à l'afflux à venir de déchets issus du démantèlement des installations nucléaires. L'extension porte sur une capacité totale (SFR et SFR 2) de 170 000 m³ et le début de fonctionnement de SFR 2 est prévu pour 2028.

Les déchets radioactifs de faible et moyenne activité à vie longue sont entreposés sur les lieux de production que sont les centrales, à Studsvik et au CLAB, dans l'attente d'une solution de stockage définitif à l'horizon 2045. À l'heure actuelle, la nature de l'exutoire n'est pas figée, mais il s'agirait d'une installation de stockage géologique distincte du stockage géologique destiné à recevoir les combustibles usés. Un dépôt de demande d'autorisation de création est prévu pour 2030. La capacité envisagée de l'installation est de 16 000 m³.

Le combustible usé est entreposé en piscine dans une installation centralisée (CLAB, Oskarshamn) depuis 1985. L'installation est située dans une cavité souterraine (entre 25 et 30 mètres de profondeur) et la durée prévue d'entreposage est de 40 à 50 ans. Environ 6 700 tonnes de combustibles sont actuellement entreposées. L'autorisation de fonctionnement de l'installation portant sur 8 000 tonnes, une demande d'extension de la capacité d'entreposage à 11 000 tonnes a été déposé en 2015.

12.3.2 Solution de gestion définitive envisagée pour les déchets de haute et moyenne activité

Le site de Forsmark a été sélectionné en 2009 pour abriter l'installation à l'issue d'un long processus qui a débuté dans les années 1980. A cette époque, SKB a réalisé des études géologiques impliquant entre autres des forages destinés à la caractérisation des roches et s'est heurté à de nombreuses protestations locales. Dès lors, l'acceptabilité locale est devenue un principe clé du processus de recherche et de sélection d'un site, lancé en 1992. Les investigations de terrain ont débuté en 2002 à Forsmark et Oskarshamn et ont duré 5 ans.

SKB a déposé une demande d'autorisation de création d'une installation de stockage géologique pour le combustible usé en mars 2011 et la procédure d'autorisation est toujours en cours en 2019. En janvier 2018, soit sept années après le dépôt de la demande de SKB, les avis de la Land and environment court et de SSM ont été transmis au gouvernement suédois à qui il appartient désormais d'accorder l'autorisation de construction du stockage. Dans son avis, la Land and environment court a souligné les incertitudes significatives sur le phénomène de corrosion des conteneurs en cuivre. Elle a également indiqué que la responsabilité de l'État à l'issue de la fermeture de l'installation devait être établie. SSM a émis un avis favorable tout en soulignant l'importance de conduire des recherches complémentaires, en particulier sur la corrosion des conteneurs. Une décision est attendue pour 2020 pour un démarrage du fonctionnement vers 2030.

Le principe du stockage, appelé KBS 3, repose sur la mise dans un conteneur de cuivre des combustibles usés. Les colis seront placés à une profondeur de l'ordre de 500 mètres dans la roche hôte. Une barrière ouvragée en bentonite (argile) est également prévue. Les colis doivent être protégés pour au moins 100 000 ans des conséquences d'un tremblement de terre, d'une période glaciaire et de l'intrusion humaine (intentionnelle ou non). Des travaux de recherche sont réalisés au laboratoire souterrain d'Aspö au Nord d'Oskarshamn, à environ 460 mètres de profondeur. Ces travaux visent à investiguer le comportement des différentes barrières du futur stockage : conteneur, barrière ouvragée, roche et à tester différents équipements pour la manutention de colis.

La construction, le fonctionnement et la fermeture de l'installation s'étaleront sur 70 années. Le stockage aura une capacité de stockage de 12 000 tonnes de combustibles usés.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

12.3.3 Alternatives envisagées

Les éléments bibliographiques consultés ne font état d'aucune alternative envisagée.

12.4 Modalités de financement

Le Act on financing of management of residual products from nuclear activities établit les principes de financement des dépenses liées au démantèlement des installations nucléaires et à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs. Les exploitants doivent estimer ces coûts et alimenter en conséquence un fonds dédié, le Swedish nuclear waste fund qui est contrôlé par le gouvernement et investi en bons du trésor ou en obligations garanties. Le financement inclut également les activités de recherche. L'État est ultimement responsable pour la gestion sur le long terme du combustible usé et des déchets radioactifs.

Les exploitants doivent produire tous les trois ans une estimation des coûts futurs associés à la gestion des déchets radioactifs et au démantèlement des installations (152). Les évaluations sont transmises au SSM qui en retour propose à chaque exploitant une estimation des sommes à payer sur les 3 années à venir.

SKB fournit les estimations ci-après en rapport avec les coûts futurs devant être supportés par les exploitants (coût brut hors actualisation, ces coûts sont également estimés pour des taux fixes d'actualisation de 1 %, 2 %, 3 %, 4 % et 5 %).

Tableau Annexe 12.4-1 Coûts de gestion des déchets radioactifs et du démantèlement des réacteurs nucléaires en Suède

Table 4-3. Compilation of the licence holders' future costs for the reference scenario from and including 2018, at the January 2016 price level. Rounding deviations occur.

		Cost per cost category, SEK million	Cost per facility, SEK million
SKB's central functions and operation of laboratories		5260	5260
Transportation system	investment	1270	2830
	operation and maintenance	1570	
Clab	reinvestments	2130	11210
	operation and maintenance	8320	
	decommissioning	750	
Encapsulation	investment	4910	15310
	operation, maintenance and reinvestments	10150	
	decommissioning	250	
Spent Fuel Repository			
– above ground	feasibility studies, technology development and safety assessment	2420	31560
	investment and decommissioning	6680	
	operation and maintenance (entire facility)	5070	
	reinvestments (entire facility)	2330	
– other rock openings	investment	2960	
	decommissioning and closure	1470	
– main and deposition tunnels	investment	6380	
	decommissioning, backfilling and closure	4260	
SFL	feasibility studies, technology development and safety assessment	800	2030
	investment	720	
	operation, maintenance and reinvestments	240	
	decommissioning and closure	280	
Interim storage facilities and near-surface repositories at NPPs	investment, operation and decommissioning	110	110
SFR (operational waste)	operation, maintenance and reinvestments	1090	1090
SFR (decommissioning waste)	feasibility studies, technology development and safety assessment	840	4860
	investment	2080	
	operation, maintenance and reinvestments	1610	
	decommissioning and closure	330	
Decommissioning of NPPs		23700	23700
Total reference cost (excluding adjustment for EEF and allowance for unforeseen factors and risk)			97970

CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0067-A

Le coût du stockage géologique pour le combustible usé - encapsulation et Spent fuel repository - est de l'ordre de 47 milliards de couronnes suédoises (SEK), soit 4,4 milliards d'euros.

Annexe 13 Gestion des déchets de type HA et MA-VL en Suisse

13.1 Contexte national

En 2018, la Suisse comptait 8,5 millions d'habitants avec un PIB d'environ 597 milliards d'euros.

13.1.1 Politique énergétique

En Suisse, l'utilisation commerciale de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité a débuté en 1969, avec la mise en service du réacteur Beznau I. La construction de nouvelles centrales nucléaires s'est ensuite poursuivie pour s'interrompre en 1984. Aujourd'hui, la Suisse compte 5 réacteurs nucléaires, répartis sur quatre sites (Beznau, Gösgen, Leibstadt, Mühleberg), couvrant environ 40 % de la production électrique du pays. À la suite de l'accident de Fukushima, le Parlement a décidé en juin 2011 de ne pas remplacer les réacteurs et, par voie de conséquence, d'éliminer progressivement la production d'énergie nucléaire. Cette décision a été confirmée en 2017 par un référendum national sur la stratégie énergétique 2050. La construction de nouvelles centrales nucléaires est donc désormais interdite. Quant au fonctionnement des réacteurs, il se poursuivra jusqu'à ce que leur sûreté soit maintenue. Les réacteurs en Suisse ne sont en effet pas limités à une durée de fonctionnement maximum. Ils doivent cependant respecter l'ensemble des normes de sûreté évaluées périodiquement à l'occasion de visites décennales.

Jusqu'en 2003, le combustible nucléaire usé issu des centrales suisses était envoyé en France et au Royaume-Uni pour y être retraité. Tous les déchets issus du retraitement ont été renvoyés en Suisse. À la suite d'un moratoire au cours de la période 2006-2016, le transfert du combustible usé pour retraitement a été interdit. Suite au référendum sur la stratégie énergétique 2050, le retraitement est désormais interdit de manière permanente.

13.1.2 Panorama des acteurs du nucléaire et textes réglementaires associés à la gestion des déchets radioactifs

En Suisse, la gestion effective des déchets radioactifs est gérée par les producteurs de déchets eux-mêmes, en vertu du principe pollueur-payeur. Les acteurs principaux de la gestion des déchets radioactifs se répartissent donc comme suit (153) (154) :

- Les **offices fédéraux** qui appuient le Conseil fédéral en matière de gestion des déchets radioactifs. Plus précisément, l'Office fédéral de l'énergie (Ofen) réalise et organise les procédures d'autorisation à l'intention du Conseil fédéral. Il contrôle également la recherche de sites aptes à abriter un stockage géologique profond. L'Office fédéral de la santé publique (OFSP) est quant à lui responsable du contrôle des installations nucléaires relatives aux activités médicales, industrielles et de recherche ainsi que de la gestion de leurs déchets radioactifs ;
- **L'autorité de sûreté nucléaire**, nommée **Inspection fédérale de la sécurité nucléaire** (IFSN/ENSI), a été créée en janvier 2009 et est chargée d'évaluer la sécurité des centrales nucléaires. L'IFSN est également responsable du suivi scientifique des études dédiées à la mise en place d'un stockage géologique des déchets radioactifs ;
- La **Commission de sécurité nucléaire** (CSN) se compose de 5 à 7 experts en sûreté nucléaire. Elle a un rôle de conseil auprès du Conseil fédéral et de l'IFSN sur les dossiers de sûreté soumis par les installations nucléaires. Elle peut émettre un avis sur les instructions réalisées par l'IFSN.
- Le **Groupe de travail de la Confédération pour la gestion des déchets nucléaires** (AGNEB) a été créé par le Conseil fédéral en 1978. Il est chargé de suivre les dossiers relatifs à la gestion des déchets radioactifs et d'émettre un avis sur le sujet à l'intention du Conseil fédéral ;
- Le **gestionnaire, la Coopérative d'entreposage des déchets radioactifs** (Nagra - Nationale genossenschaft fuïr die lagerung radioaktiver), a été créée en 1972 par les électriciens – producteurs de déchets radioactifs – ainsi que le Gouvernement fédéral. La Nagra a pour mission de prendre en

charge et de stocker l'ensemble des déchets radioactifs produits en Suisse. Dans ce cadre, la Nagra réalise l'ensemble des travaux de recherche associés à l'implantation de futur(s) site(s) de stockage(s) géologique(s) dont elle assurera la construction et le fonctionnement par la suite. À ce titre, la Nagra dispose de laboratoires souterrains lui permettant d'y réaliser divers programmes de recherche. Le laboratoire souterrain de Grimsel, construit en 1983, est situé dans la roche granitique du massif de l'Aar. Le laboratoire souterrain du Mont-Terri, inauguré en 1998, est localisé au nord de Saint-Ursanne, dans le canton du Jura, à 300 mètres de profondeur. Ce laboratoire souterrain international est financé par les organisations de 6 pays (dont l'Andra). Il vise, entre autres, à caractériser sa formation hôte : les argiles à opalines ;

- La société Zwilag, est une société privée détenue par les 4 électriciens suisses. Cette société est responsable du centre d'entreposage temporaire des déchets radioactifs ZZL, situé à Würenlingen ;
- Les électriciens sont au nombre de quatre entreprises privées : NOK-Axpo, KKG, Alpiq et BKW.

La gestion des déchets radioactifs est globalement orchestrée par la loi sur l'énergie nucléaire (LENu) (155) ainsi que par l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu) (156), toutes deux en vigueur depuis le 1er février 2015. Plus précisément, la loi LENu définit les grands principes de la gestion des déchets radioactifs en précisant notamment que ces derniers doivent être stockés dans des couches géologiques profondes. L'ordonnance OENu précise quant à elle les dispositions de mise en place de la loi LENu en apportant notamment un éclairage sur le rôle de la Confédération. L'ordonnance définit également les modalités de financement du démantèlement ainsi que de la gestion des déchets radioactifs.

13.2 Sources, types et quantités de déchets

En Suisse, la majeure partie des déchets radioactifs provient de l'industrie électronucléaire. Ces déchets sont classés en trois catégories principales :

- les déchets de faible et moyenne activité (FMA) résultant du fonctionnement des centrales nucléaires ainsi que des activités de la recherche ou des secteurs médical et industriel.
- les déchets alpha-toxiques (ATA) correspondant aux déchets dont la concentration en émetteurs alpha est supérieure à 20 000 Bq/g.
- les déchets hautement radioactifs (DHA) qui regroupent le combustible usé ainsi que les déchets issus de son retraitement.

Pour une durée de fonctionnement des centrales nucléaires estimée à 60 ans, la Nagra s'attend à devoir gérer près de 9 400 m^3 de déchets à haute activité, 1 000 m^3 de déchets alpha-toxiques et plus de 80 000 m^3 de déchets de faible et moyenne activité. Ces volumes incluent le volume associé aux conditionnements des déchets.

13.3 Solutions de gestion des déchets radioactifs

Pour les trois catégories de déchets radioactifs définis par la législation suisse, deux types de stockage géologique sont envisagés pour leur gestion définitive :

- un stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte ;
- un stockage pour les déchets de haute activité et potentiellement les déchets de moyenne activité à vie longue.

En attendant la mise en place de telles installations de stockage, les déchets sont aujourd'hui entreposés sur leurs lieux de production (sites des centrales) ainsi que dans des entreposages centralisés.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

13.3.1 Solutions de gestion actuelle

En Suisse, chaque centrale entrepose des déchets radioactifs de faible et moyenne activité, ainsi que du combustible usé sur son site de production. Le site de la centrale nucléaire de Beznau dispose quant à lui de son propre centre d'entreposage intermédiaire à sec, le Zwibez, mis en service en 1994. Il est composé de deux halls d'entreposage, l'un dédié aux déchets de faible et moyenne activité pour une capacité de 6 000 m^3, et l'autre réservé aux déchets de haute activité dont la mise en service remonte à fin 2008. L'institut de recherche Paul Scherrer dispose quant à lui d'un centre de stockage temporaire (BZL) dédié aux déchets de faible et moyenne activité provenant des activités médicale, industrielle et de recherche. Ce site est implanté à Würenlingen, près de la centrale de Beznau.

En 2001, la Suisse a également mis en service une installation d'entreposage centralisée nommée ZZL, exploitée par Zwilag, à proximité du centre BZL. Ce centre est destiné à regrouper l'ensemble des déchets vitrifiés issus du retraitement de la Hague et de Sellafield, le combustible usé ainsi que les déchets de moyenne activité à vie longue, en attendant une solution de stockage définitive. Ce centre de stockage est complété d'un incinérateur à torche à plasma et d'un bâtiment de conditionnement des déchets de faible activité.

13.3.2 Solution de gestion définitive envisagée

Depuis sa création en 1972, la Nagra cherche à définir des concepts de stockage de déchets radioactifs dans différents milieux géologiques. La Nagra a fait le choix de développer deux types de stockage différents dédiés respectivement aux déchets de faible et moyenne activité à vie courte et aux déchets de haute et moyenne activité vie longue. Prévus pour être indépendants, ces deux types de stockage pourraient être construits sur le même site, sans être pour autant placés dans la même formation géologique. En 1998, la Nagra a apporté au Conseil fédéral la démonstration de faisabilité d'un stockage géologique profond dans une formation d'argiles à opalines, pour les déchets de faible et moyenne activité. En 2002, une seconde démonstration de faisabilité dédiée cette fois-ci au stockage géologique profond, pour les déchets de haute activité et les déchets alpha-toxiques, a été soumise au Conseil fédéral, toujours dans une formation d'argile à opalines. Ces démonstrations de faisabilité ont été validées par le Conseil fédéral en 2006. Depuis 2008, les progrès relatifs à la mise en place des stockages géologiques suivent une planification précise, définie par le plan sectoriel « dépôts en couches géologiques profondes », développé par l'Ofen, en consultation avec diverses parties prenantes. Ce plan permet la mise en place d'une démarche équitable, transparente et participative au moyen de trois grandes étapes.

- L'étape 1 (2008-2011) a consisté en la sélection de régions abritant des formations géologiques adéquates pour un stockage profond de déchets radioactifs. En novembre 2011, le Conseil fédéral a approuvé la sélection de six régions. Toutes les régions proposées conviennent au stockage de déchets de faible activité, et trois d'entre elles peuvent héberger un stockage de déchets de haute activité ;
- L'étape 2 (2011-2018) a cherché à retenir au moins deux sites possibles pour chaque type de stockage envisagé. Le processus de sélection a notamment fait appel à une consultation des parties prenantes locales, qui ont pu faire valoir leurs avis à partir de propositions d'infrastructures de surface associées aux différentes options de stockages géologiques dans les régions présélectionnées. Les résultats de ce processus ont été soumis au Conseil fédéral en janvier 2015. Deux régions situées à l'est du Jura et au nord de Zürich ont été proposées pour une évaluation plus approfondie. La région au nord de Lägern a été introduite dans le processus par ENSI/IFSN. Ces trois régions conviendraient aussi bien pour un stockage géologique de déchets de faible activité que celui de haute activité, dans une formation géologique d'argile à opalines ;
- L'étape 3 a débuté en 2018 et comprend des études de caractérisation détaillée du sous-sol des trois sites proposés. Les résultats de ces études devraient conduire à la sélection d'un ou de deux sites dédiés à l'implantation des deux différents stockages de déchets radioactifs. Les premiers travaux d'exploration ont d'ailleurs débuté au printemps 2019 à Bülach, dans la région de Zürich.

Le Conseil fédéral devrait se prononcer sur le choix définitif du site ou des sites et l'octroi possible d'une autorisation de construction d'ici 2029, ce qui clôturera la troisième étape du processus. Ensuite, la décision du Conseil fédéral devra être approuvée par le Parlement. La résolution parlementaire pourrait être sujette à un référendum national vers 2031. Il est prévu que le centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité entre en fonctionnement vers 2050. Le centre de stockage de déchets de haute activité entrerait pour sa part en service vers 2060.

13.4 Modalités de financement

Les modalités de gestion des déchets radioactifs sont définies dans l'ordonnance OENu du 1er février 2015, qui précise qu'en vertu du principe pollueur-payeur, les producteurs sont tenus de stocker à leurs frais les déchets radioactifs qu'ils produisent. Plus précisément, les producteurs se doivent de couvrir les coûts de gestion des déchets tout au long du fonctionnement de leur installation nucléaire. Une fois l'installation arrêtée et hors service, les frais de gestion des déchets sont alors pris en charge par un fonds de gestion indépendant. Ce fonds de gestion est approvisionné par les producteurs tout au long du fonctionnement de leur installation. La gestion de ce fond est placée sous le contrôle du Conseil fédéral. En 2016, l'estimation des coûts de gestion des déchets radioactifs s'élevait à environ 20 milliards de francs suisses (CHF, soit 18,79 milliards d'euros). Fin 2015, les coûts de gestion à couvrir pendant le fonctionnement s'élevaient à environ 5,5 milliards de francs suisses (5,17 milliards d'euros), pour atteindre environ 7,5 milliards de francs suisses (7,05 milliards d'euros) au moment de l'arrêt de l'ensemble des centrales. Les producteurs doivent donc encore prendre en charge 2 milliards de francs suisses (1,88 milliards d'euros). Le fonds de gestion doit quant à lui couvrir les 10,5 milliards de francs suisses (9,86 milliards d'euros) restant. Fin 2015, la valeur du fonds de gestion atteignait 4,2 milliards de francs suisses (3,95 milliards d'euros). Le fonds de gestion continue d'être complété par le rendement du capital ainsi que par les sommes versées par chacun des producteurs. Les calculs du fonds de gestion des déchets se basent sur un rendement de 2 %.

Annexe 14 Fondement théorique sur le taux d'actualisation

14.1 Cadre théorique et appliqué du taux sans risque

14.1.1 Formule de Ramsey et effet richesse

L'estimation du taux sans risque, ici dénoté r_f est appréhendée dans le rapport Lebègue (2005 (54)) *via* la formule de Ramsey :

$$r_f = \gamma\mu + \delta$$

Elle prend en compte deux effets : $\gamma\mu$, l'effet richesse ; et δ, le taux de préférence pure pour le présent.

L'effet richesse est composé de deux paramètres : μ correspond aux anticipations portant sur la croissance économique, et γ l'élasticité marginale de la consommation (ou aversion relative à l'inéquité intertemporelle) ; ce dernier paramètre γ modélise donc le fait que l'utilité croit relativement moins que la croissance de la consommation.

L'effet richesse reflète le comportement pro-cyclique du taux d'intérêt observé sur les marchés financiers. Concernant le taux d'actualisation socioéconomique, si les individus anticipent une croissance économique forte, ils accorderont un poids plus fort à une variation de la consommation aujourd'hui, plutôt qu'a une variation de taille identique de la consommation dans un futur certainement meilleur. En d'autres termes, une variation de la consommation de la même taille entraine, sous l'hypothèse d'une croissance économique, une variation de l'utilité plus importante aujourd'hui que dans le futur (utilité marginale décroissante) ; retarder cette consommation réduira donc le bien-être inter-temporel (Gollier 2016 (55)).

Gollier (2016 (55)) propose de retenir $\gamma = 2$; en d'autres termes, l'effet richesse est égal au double de la croissance. En supposant que les taux de croissance passés sont extrapolables sur l'avenir, le taux de croissance moyen réel du PIB par habitant en France de 1,75 % sous-tend un taux sans risque de 3,50 % (Gollier, 2016 (55)). Le taux d'actualisation, égal au seul effet richesse, obtenu par Gollier est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau Annexe 14.1-1Taux d'actualisation r = γμ, Gollier (2016 (55))

	Pays	Taux de croissance du PIB/hbt	Taux d'actualisation
Pays développés	USA	1,74 %	3,48 %
	France	1,75 %	3,50 %
	Allemagne	1,76 %	3,52 %
	Royaume-Uni	1,86 %	3,71 %
	Japon	2,34 %	4,67 %
Pays émergeants	Chine	7,60 %	15,20 %
	Corée du Sud	5,38 %	10,75 %
	Taiwan	5,41 %	10,82 %
	Inde	3,34 %	6,88 %
	Russie	1,54 %	3,08 %
Afrique	Gabon	1,29 %	2,58 %
	Liberia	-1,90 %	-3,79 %
	Zaire (RDC)	-2,76 %	-5,53 %
	Zambie	-0,69 %	-1,38 %
	Zimbabwe	-0,26 %	-0,53 %

CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0068-A

Source : Mes calculs sur base des données annuelles ERS/USDA.

14.1.2 Taux de préférence pure pour le présent

Ce taux indique qu'un plaisir immédiat est préféré au même plaisir, toute chose égale par ailleurs, dans le futur. Il s'agit donc d'un taux qui reflète l'impatience des agents, ainsi que leur « probabilité de mourir ». Il est indépendant de tout phénomène économique.

En France, le rapport Lebègue (2005 (54)) proposent un taux de préférence pur pour le présent $\delta = 1\,\%$. Le rapport Quinet (2013 (11)) propose une valeur globale du taux sans risque, sans précision du taux de préférence pur pour le présent mobilisé.

On note toutefois que la prise en compte d'un taux de préférence pure pour le présent n'est pas unanimement partagée. Stern (2007 (17)) note que, si le projet porte sur plusieurs générations, l'utilisation de $\delta > 0$ ne peut être justifiée que pour incorporer le risque de disparition de l'humanité[87]. Gollier (2016 (55)) propose de fixer $\delta = 0$, quel que soit l'horizon temporel du projet. Utiliser un taux $\delta > 0$ revient, mécaniquement, à augmenter les inégalités entre les générations. Or, sous un « voile de l'ignorance »[88], la décision optimale est celle qui réduit le « risque » (les inégalités entre les générations), et qui maximise la somme espérée des utilités de chaque génération. Il convient donc, afin d'arriver à cette décision optimale, pour les partisans de cette approche, de choisir $\delta = 0$.

[87] Stern (2007 (17)) utilise par exemple $\delta = 0{,}1\,\%$, correspondant selon lui à la probabilité de disparition de l'humanité dans les 12 prochains mois.

[88] On se place ici dans une instance imaginaire au sein de laquelle siègent des représentants de l'ensemble des générations à venir. Les représentants ne savent pas au sein de quelle génération ils vont prendre place, et l'allocation des représentants au sein des générations est aléatoire ; les représentants ont une probabilité égale d'être attribués à chaque génération.

14.1.3 Formule de Ramsey étendue

La formule de Ramsey implique une connaissance et une stabilité du terme μ – hypothèse peu réaliste, et devenant d'autant moins crédible que la durée de vie du projet est importante. En d'autres termes, l'incertitude sur l'état du monde futur n'est pas prise en compte dans cette formulation. Il paraît dès lors légitime d'ajouter à cette formulation un troisième effet, l' » effet de précaution » (règle de Ramsey étendue). Il reflète notre volonté d'épargner (investir) lorsque notre futur est incertain, versus consommer aujourd'hui ; il aura donc tendance à diminuer le taux d'actualisation. Si le taux de préférence pure pour le présent δ est supposé nul, le taux d'actualisation est donc déterminé par deux effets contradictoires : un « effet richesse », qui aura tendance à augmenter le taux d'actualisation ; un « effet de précaution », qui aura tendance à le diminuer.

Gollier (2016 (55)) définit l' » effet précaution » comme la variance du taux de croissance multiplié par le terme $\gamma\frac{1+\gamma}{2}$. Il obtient ainsi les taux d'actualisation $r = \gamma\mu - effet\ précaution$ suivants :

Tableau Annexe 14.1-2Taux d'actualisation $r = \gamma\mu - effet\ précaution$, Gollier (2016 (55))

	Pays	Volatilité taux de croissance	Effet précaution	Taux d'actualisation
Pays développés	États-Unis	2,11 %	-0,13 %	3,35 %
	France	1,57 %	-0,07 %	3,43 %
	Allemagne	1,83 %	-0,10 %	3,42 %
	Royaume-Uni	2,18 %	-0,14 %	3,57 %
	Japon	2,61 %	-0,20 %	4,47 %
Pays émergents	Chine	3,53 %	-0,37 %	14,82 %
	Corée du Sud	3,40 %	-0,35 %	10,41 %
	Taiwan	5,29 %	-0,84 %	9,98 %
	Inde	3,03 %	-0,28 %	6,61 %
	Russie	5,59 %	-0,94 %	2,14 %
Afrique	Gabon	9,63 %	-2,78 %	-0,20 %
	Liberia	19,58 %	-11,50 %	-15,30 %
	Zaire (RDC)	5,31 %	-0,85 %	-6,38 %
	Zambie	4,01 %	-0,48 %	-1,86 %
	Zimbabwe	6,50 %	-1,27 %	-1,79 %

CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0069-A

14.1.4 Prise en compte d'évènements extrêmes

Gollier (2016 (55)) note que la validité de la formule de Ramsey étendue dépend, entre autres, de la normalité de la distribution des taux de croissance. Si les taux de croissance sont normalement distribués, c'est-à-dire avec des queues relativement fines, nous devrions observer une fréquence limitée d'évènements extrêmes ; or, cette normalité ne serait pas respectée, avec une fréquence d'évènements extrêmes bien « trop » importante.

La non-normalité de la distribution sous-estimant le risque, l'effet de précaution devrait être augmenté. Gollier (2016 (55)) propose, pour la France, de retenir un taux sans risque de 2,5 % à 3 % (versus 3,43 % avec $r = \gamma\mu - effet\ précaution$).

14.1.5 Estimation du taux sans risque

Le rapport Quinet (2013 (11)) révise cette valeur, et adopte un taux sans risque de 2,5 % jusqu'en 2070, et de 1,5 % pour les années suivantes.

Gollier (2016 (55)) suggère d'actualiser les flux à moins de 20 ans à un taux égal au double de la croissance anticipée de la consommation. Le taux sans risque décroit ensuite vers 1 % pour les flux les plus lointains (plus de 100 ans).

L'utilisation de taux bas devient plus générale parmi les analystes, en raison d'une meilleure compréhension des enjeux, mais aussi, plus conjoncturellement, en raison de l'expérience concrète de taux d'intérêt faibles.

14.2 Cadre théorique de la prime de risque

Le rapport Gollier (2011 (56)) souligne l'importance de la prise en compte du risque dans l'évaluation des projets d'investissement public. La méthodologie adaptée à la prise en compte du risque dépend du type de risque, et notamment de son ampleur ; de son caractère diversifiable, ou non ; de sa corrélation, ou non, à la croissance économique.

La valeur actualisée nette (VAN) espérée correspond à l'espérance des flux de coûts et bénéfices du projet, actualisés à un taux sans risque. La justification de son utilisation s'appuie notamment sur le théorème d'Arrow-Lind : si un projet d'investissement public est marginal par rapport au PIB, et que son bénéfice net est indépendant de l'évolution de la richesse nationale, alors le coût du risque du projet tend vers zéro quand le nombre de contribuables tend vers l'infini. En d'autres termes, l'évaluation de projets d'investissements publics présentant un risque marginal, non-corrélé au PIB et réparti sur un nombre important d'agents économiques devrait être actualisée au taux sans risque. Ces conditions, et donc leurs conséquences, peuvent être vues comme discutables pour le projet global Cigéo. Il convient dès lors d'appliquer une « prime de risque ». Deux méthodes se présentent alors.

La première est celle de la prime de risque « au numérateur », qui est justifiée dès lors que le risque du projet est corrélé à la croissance économique. En effet, il est légitime de penser que la collectivité préfère un projet contra-cyclique (c'est-à-dire pouvant fonctionner en tant qu' « assurance » en cas de ralentissement ou de récession économique), aux projets pouvant aggraver les conséquences d'une crise.

On se réfère alors à la formule suivante du taux sans risque :

$$r_f = \gamma\mu + \delta$$

Où, dans la formule de Ramsey, γ (gamma) est l'aversion au risque, μ (mu) est le taux de croissance de l'économie et δ (delta) est la préférence pure pour le présent (appelée aussi taux d'impatience).

Dès lors si $E[X_t]$ correspond à l'espérance « classique » de la VAN en période t ; γ au coefficient d'aversion relative pour le risque ; $E[C_t]$ la consommation attendue de la société en période t.

Ainsi, il est aisé de voir que

- si $cov(X_t, C_t) = 0$, (les bénéfices du projet ne sont pas corrélés à la croissance économique) nous sommes de retour à $E[X_t]$, l'espérance « classique » de la VAN ;
- si $cov(X_t, C_t) > 0$, c'est-à-dire si la corrélation entre le risque du projet et le risque macroéconomique est positive, un coût supplémentaire est ajouté au projet ;

- si $cov(X_t, C_t) < 0$, c'est-à-dire si la corrélation entre le risque du projet et le risque macroéconomique est négative, un bénéfice supplémentaire est ajouté ;
- plus γ (l'aversion au risque) est élevée, plus la prime de risque sera élevée pour un projet pro-cyclique (contra-cyclique).

On note toutefois qu'une limite majeure de ce type d'approximation est de n'être valide mathématiquement que dans un cadre de risque gaussien, ce qui exclut en pratique les distributions de risque à valeurs extrêmes ; si le risque portant sur les bénéfices nets du projet est au contraire non-marginal (5-10 % du PIB), cette approche peut conduire à sous-estimer le risque de manière considérable.

La seconde méthode, est celle de la prime de risque « au dénominateur ». Elle correspond à une majoration du taux d'actualisation. Si l'on note r_f le taux sans risque, et r le système d'actualisation comprenant le taux sans risque et la prime de risque, alors la prise en compte du risque au dénominateur revient à remplacer :

$e^{-r_f t}[E[X_t] - \frac{\gamma}{E[C_t]} cov(X_t, C_t)$, pour une approche au numérateur, par :

$$e^{-rt}\big[E[X_t]\big]$$

Où $r = r_f + \beta\varphi$ est le taux d'actualisation ; r_f est le taux sans risque et $\beta\varphi$ est la prime de risque. Cette prime de risque comprend :

- β (« bêta socioéconomique »), qui représente la corrélation entre les coûts et les bénéfices du projet et le risque macroéconomique (si quand la croissance baisse, les flux du projets baissent, le projet est pro-cyclique et β est proche de 1 ; si au contraire, quand la croissance baisse, le projet permet de contrer les effets de cette baisse, alors le projet est contra-cyclique, et le β peut être négatif) ;
- et $\varphi = \gamma\sigma^2$ représente à la fois l'aversion au risque (γ), la volatilité macroéconomique (σ^2).

On comprend alors que :

- si aucune volatilité macroéconomique n'existe (peu réaliste, ou dans le cas où la société tend vers un comportement neutre au risque), φ est égal à (tend vers) 0, et le système d'actualisation est égal au (tend vers le) taux sans risque ;
- si aucune corrélation entre le projet et le risque macroéconomique n'existe, β = 0 et le système d'actualisation est de nouveau égal au taux sans risque ;
- si la corrélation entre le projet et le risque économique est parfaite, β = 1 ; les bénéfices du projet augmentent de 1 % dès que le PIB augmente de 1 %.

De manière similaire à la prise en compte du risque au numérateur, un projet contra-cyclique se verra ainsi attribuer une prime sous forme d'une minoration du taux d'actualisation, soit donc une valorisation plus haute des coûts ou bénéfices futurs, là où un projet positivement corrélé à l'évolution du PIB se verra minorer ses coûts ou ses bénéfices futurs, par le biais d'une majoration du taux d'actualisation.

Le rapport Quinet (2013 (11)) reprend les conclusions principales du rapport Gollier (2011 (56)) et soutient le besoin d'intégrer une prime de risque systémique. La méthodologie avancée par le rapport Quinet (2013 (11)) correspond à une méthodologie « au dénominateur », qui présente l'avantage d'une simplicité de mise en place. La prime de risque est fixée à 2 % jusqu'en 2070, puis à 3 % au-delà.

TERME CORRECTEUR POUR LE CALCUL DES ESPÉRANCES DE COÛTS ET DE BÉNÉFICES

Pour les dépenses indexées au PIB, la formule issue des modèles de Ramsey enrichis par la prise en compte du risque est insuffisant en théorie.

Des correctifs apparaissent lorsque des dépenses sont corrélées à la consommation.

Le cadre de Ramsey permet cependant des expressions détaillées des taux d'actualisation d'un projet dont l'élasticité au revenu est paramétrée.

Le paramètre clé est β, c'est-à-dire l'élasticité au revenu, ou de manière équivalente le paramètre d'indexation.

Un exemple complet d'application peut être trouvé dans Dietz, Gollier et Kessler (2018 (157)) et le principe pourrait en être employé dans l'évaluation du projet global Cigéo.

Outre le taux sans risque comprenant la prime de risque systématique, des termes s'ajoutent.

Ces termes additionnels sont nuls pour $\beta = 0$, et ils tendent à réduire le taux d'actualisation si $\beta > 0$.

Il s'agit d'une prime de risque additionnelle, spécifique au projet en raison de son β.

Le taux d'actualisation recommandé serait alors :

$$r_f - \beta\mu + \beta\gamma\sigma^2 - \frac{1}{2}\beta^2\sigma^2$$

Le second terme n'est que l'indexation déterministe des dépenses, mise ici au dénominateur au lieu du numérateur, selon la distinction du rapport Quinet.

La difficulté est que le modèle de Ramsey n'est pas cohérent avec les primes empiriques de risque systématique. Gollier le remarque dans sa contribution au rapport Quinet (2013 (11)).

Il a été choisi dans cette évaluation socioéconomique de privilégier des valeurs cohérentes avec l'expérience historique pour les premières grandes périodes de chaque scénario, et non de se fier étroitement aux prescriptions du modèle de Ramsey. Dès lors, l'extrapolation par le modèle de Ramsey enrichi de termes supplémentaires est fragile.

Il est délicat de le réhabiliter à la virgule près pour des termes mal connus alors qu'il est écarté pour des termes classiques. Par ailleurs, les valeurs des termes correcteurs ne sont pas très importantes. Certes, ils font baisser un taux d'actualisation qui tend déjà à être très bas à long terme.

Le problème essentiel serait que les VAN ne convergent pas s'il y a des coûts récurrents perpétuels. Ce cas reste hypothétique. Le choix de taux d'actualisation synthétiques par grandes périodes, et selon les *scenarii*, est retenu.

Annexe 15 Détails des coûts et représentations graphiques de l'option de projet 1

15.1 Hypothèses de l'option de projet 1

Tableau Annexe 15.1-1Solutions de gestion de l'option de projet 1

Option	Solution de gestion pour les MA-VL	Solution de gestion pour les HA
Option de projet 1	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond

Tableau Annexe 15.1-2Hypothèses de l'option de projet 1

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité Jusqu'en 2170, puis au-delà
Conception, construction, exploitation et fermeture de Cigéo	2019-2156	25 811 M€	80 %-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2030-2040			
Dont stockage MA-VL	2040-2100			
Dont stockage HA	2080-2145			
Transport	2030-2145	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour phase industrielle pilote et stockage MA-VL	2030-2095	1 387 M€		
Dont pour stockage HA	2080-2145	215 M€		
GIP	2019-2025	420 M€ (60 M€/an)		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0

15.2 Coût de l'option de projet 1 avec prise en compte des prix relatifs

15.2.1 Approche déterministe, scénario OK

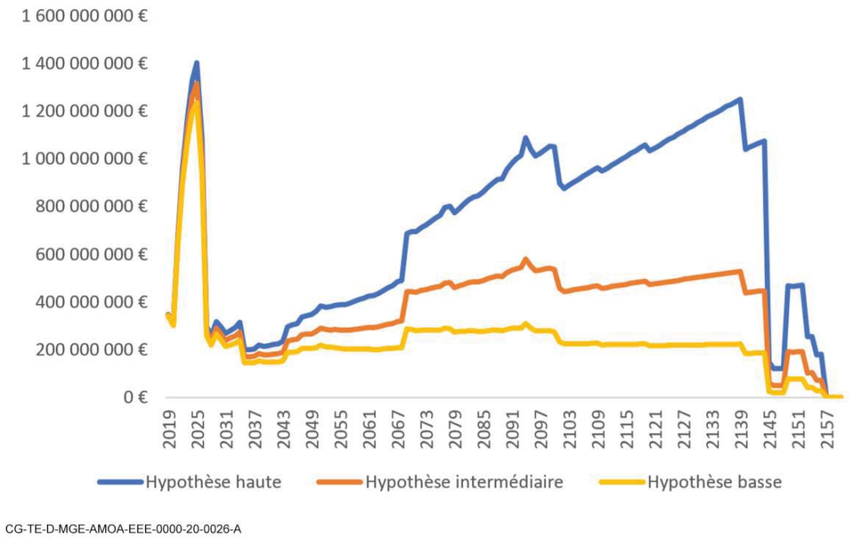


Figure Annexe 15.2-1 Coût de l'option de projet 1, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario OK

15.2.2 Approche déterministe, scénario KO

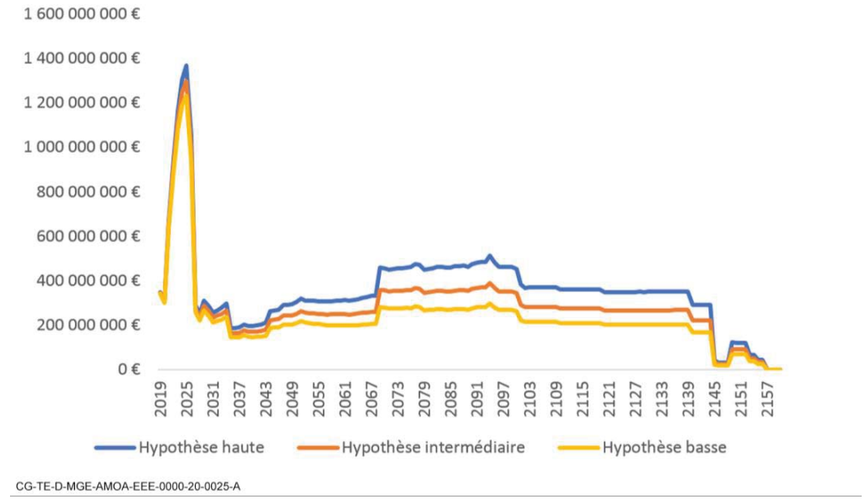


Figure Annexe 15.2-2 Coût de l'option de projet 1, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario KO

15.2.3 Approche probabiliste non actualisée, scénario OK

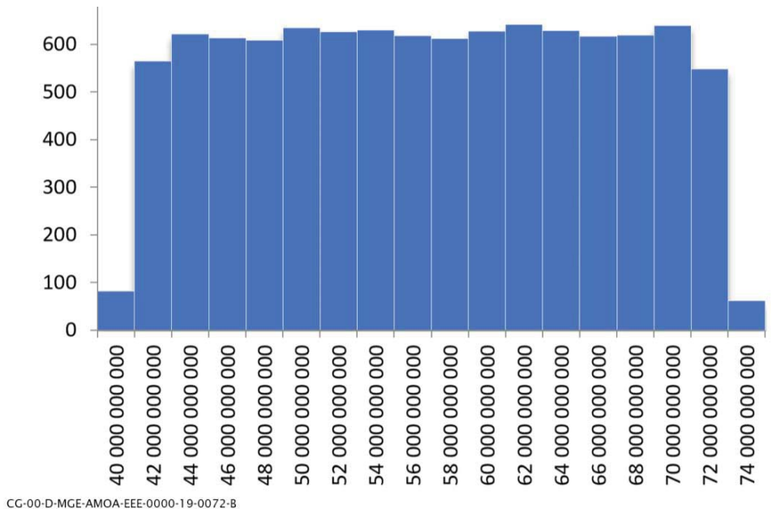


Figure Annexe 15.2-3 Distribution du coût de l'option de projet 1 (Cigéo) en tenant compte des prix relatifs, issue d'une simulation de Monte-Carlo, dans le scénario OK et avant actualisation, en taux intermédiaire

15.2.4 Approche probabiliste non actualisée, scénario KO

En scénario KO, le coût moyen de l'option de projet 1 s'élève à 52 044 millions d'euros, avec un intervalle de confiance de 90 % compris entre 35 930 millions d'euros et 71 795 millions d'euros.

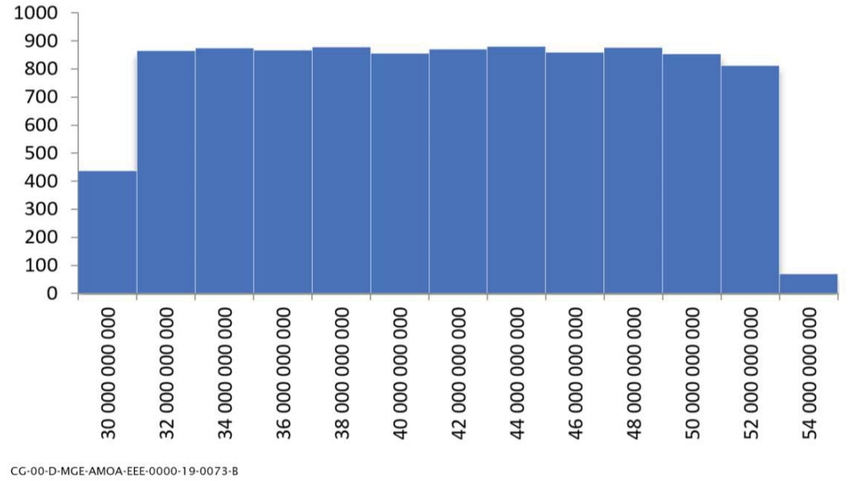


Figure Annexe 15.2-4 Distribution du coût de l'option de projet 1 (Cigéo) en tenant compte des prix relatifs, issue d'une simulation de Monte-Carlo, dans le scénario KO et avant actualisation, en taux intermédiaire

15.3 Coût actualisé de l'option de projet 1

15.3.1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK

Tableau Annexe 15.3-1Résultats actualisés de l'option de projet 1 en scénario OK

Option de projet 1 Scenario OK	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Taux d'actualisation haut	9 836 M€	1 592 M€	6 864 M€	12 752 M€	7 360 M€ ; 12 311 M€
Taux d'actualisation intermédiaire	12 544 M€	2 028 M€	8 807 M€	16 298 M€	9 389 M€ ; 15 695 M€
Taux d'actualisation bas	14 482 M€	2 348 M€	10 157 M€	18 780 M€	10 822 M€ ; 18 146 M€

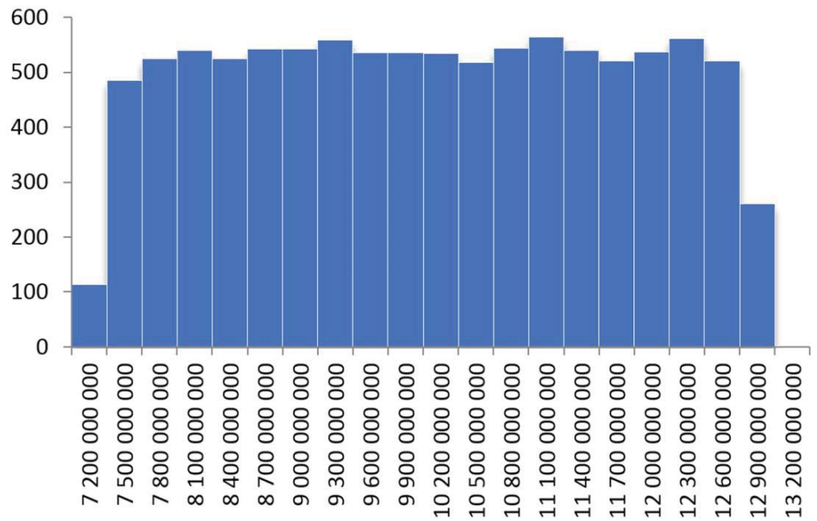


Figure Annexe 15.3-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario OK

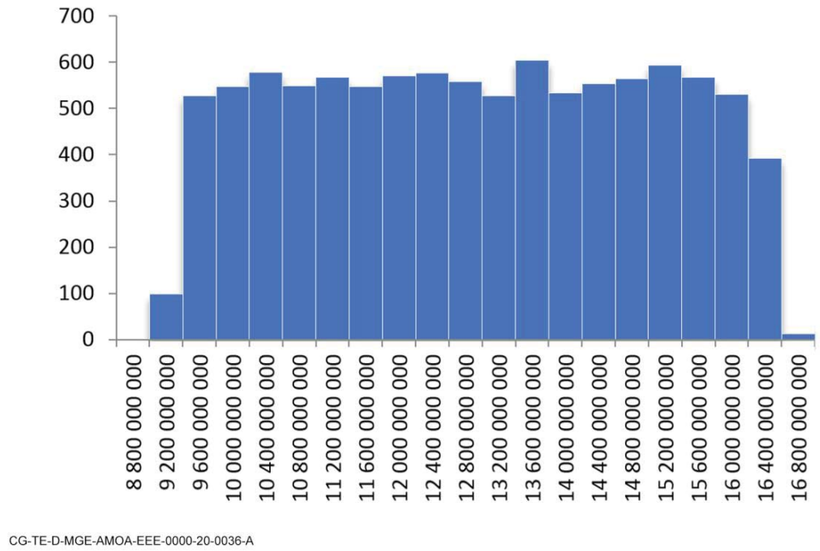


Figure Annexe 15.3-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario OK

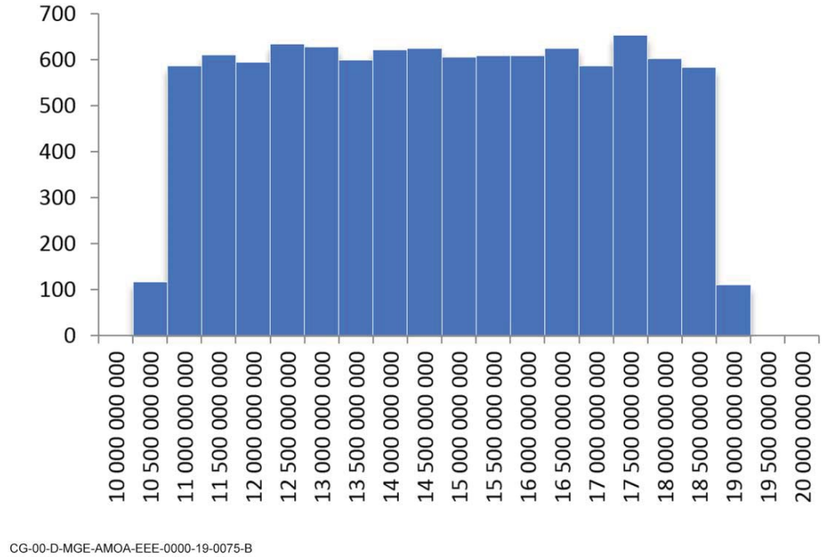


Figure Annexe 15.3-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario OK

15.3.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO

Tableau Annexe 15.3-2Résultats actualisés de l'option de projet 1 en scénario KO

Option de projet 1 Scenario KO	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 %;95 %]
Taux d'actualisation haut	11 646 M€	1 883 M€	8 133 M€	15 134 M€	8 727 M€ ; 14 566 M€
Taux d'actualisation intermédiaire	16 741 M€	2 719 M€	11 721 M€	21 716 M€	12 503 M€ ; 20 976 M€
Taux d'actualisation bas	22 835 M€	3 632 M€	15 938 M€	29 705 M€	17 027 M€ ; 28 636 M€

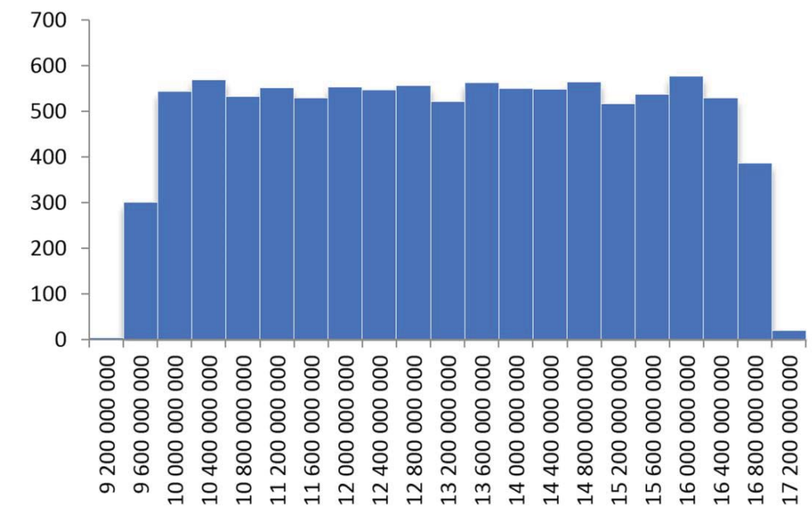


Figure Annexe 15.3-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario KO

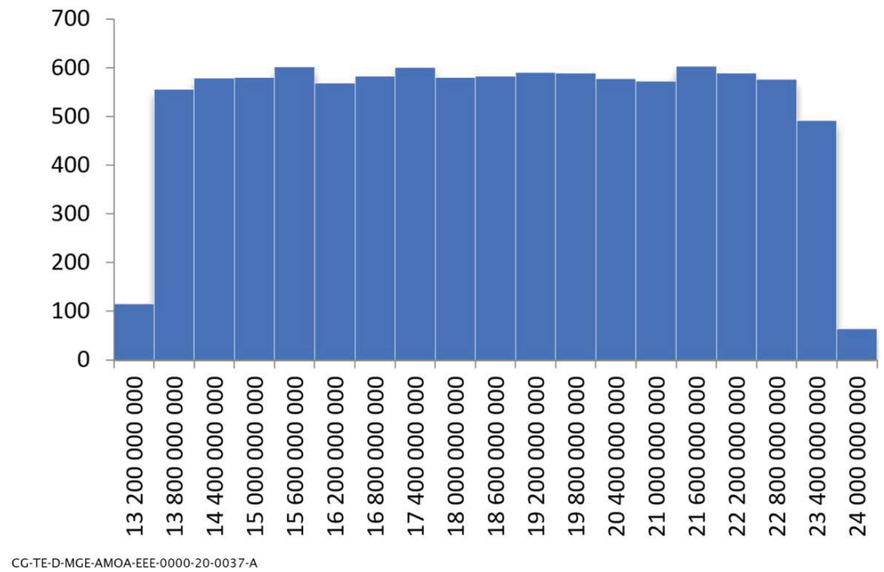


Figure Annexe 15.3-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario KO

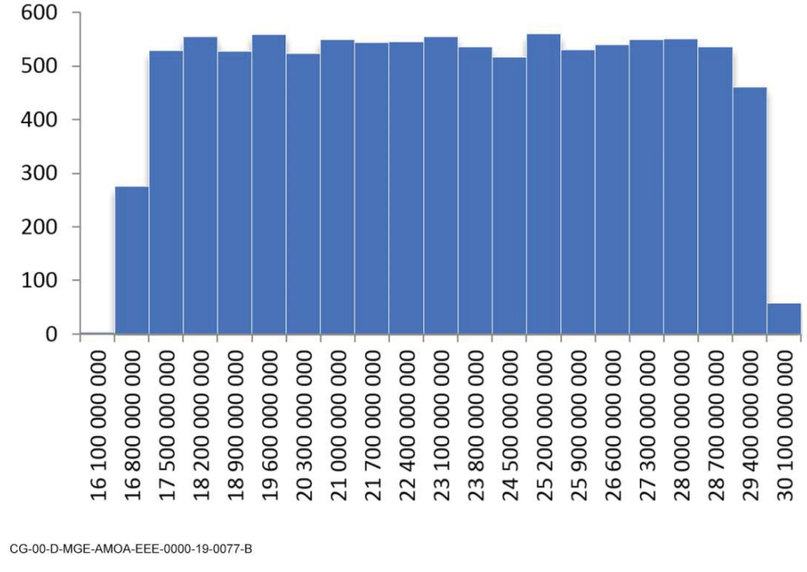


Figure Annexe 15.3-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario KO

Annexe 16 Détail des coûts et représentation graphique de l'option 2

16.1 Hypothèses de l'option 2

Tableau Annexe 16.1-1Solutions de gestion de l'option 2

Branches de l'option 2	Solution de gestion pour les MA-VL	Solution de gestion pour les HA
Branches 2.1.a et 2.2	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond
Branche 2.1.b	Stockage géologique profond	Technologie prospective (forage profond)

Tableau Annexe 16.1-2Hypothèses de l'option 2 - Branches 2.1.a et 2.2

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[89]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2019-2156	25 811 M€	80 %-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2030-2040			
Dont stockage MA-VL	2040-2100			
Dont stockage HA	2080-2145			
Transport	2030-2145	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour phase industrielle pilote et stockage MA-VL	2030-2095			
Dont pour phase industrielle pilote et stockage HA	2080-2145			
GIP	2019-2025	420 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	3 570 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2069	1 653 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0

[89] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

Tableau Annexe 16.1-3Hypothèses de l'option 2 - Branche 2.1.b

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[90]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2019-2109	15 110 M€	80 % - 150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2030-2040			
Dont stockage MA-VL	2040-2100			
Dont stockage HA	N/A			
Transport	2030-2155	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour phase industrielle pilote et stockage MA-VL	2030-2095			
Dont pour stockage HA	2091-2155			
GIP	2019-2025	420 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	3 570 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2088	6 294 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069	1 653 M€		
Dont phase 2	2070-2088	4 641 M€		
Technologie prospective	2086-2155	11 637 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont constructions annexes	2086-2090	1 086 M€		
Dont mise en forage HA	2091-2155	9 940 M€		
Entreposage	2080-2155	48 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1

[90] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

16.2 Coûts unitaires de l'option 2

16.2.1 Coût de mise en place de Cigéo

Pour mémoire, les coûts de mise en place de Cigéo comprennent plusieurs types de dépenses :

- investissement ;
- fonctionnement ;
- assurances, maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage ;
- fiscalité ;
- activités connexes sous maîtrise d'ouvrage Andra.

L'option 2 se distingue de l'option de projet 1 à compter de 2070. De ce fait, les coûts de mise en place de Cigéo sont identiques à ceux de l'option de projet 1 jusqu'à cette date et ce, quelle que soit la branche considérée de l'option 2.

Au-delà de 2070, si les branches 2.1.a et 2.2 restent identiques à l'option de projet 1, des modifications sont requises dans la branche 2.1.b. Ces modifications sont les suivantes :

- investissement et fonctionnement : suppression des montants qui concernent le stockage des déchets HA, et notamment dans les catégories suivantes :
  - ✓ coût d'investissement relatif au process nucléaire : suppression des coûts liés au process des colis HA post 2070 ;
  - ✓ coût d'investissement relatif au bâtiment nucléaire de surface : retrait des coûts de la construction de l'EP2[91] ;
  - ✓ coût d'investissement relatif aux installations conventionnelles de surface : raccourcissement de la période de fonctionnement, le stockage des MA-VL s'effectue entre 2040 et 2100, avancement de la fermeture, avec économie sur les coûts de jouvence (moins de bâtiments concernés) et sur les coûts de démantèlement, qui sont avancés entre 2100 et 2110 au lieu de 2145 et 2155 ;
  - ✓ coût d'investissement relatif aux liaisons surface-fond et ouvrages souterrains : suppression des coûts liés aux zones de stockage HA après 2070 et avancement des coûts de démantèlement à 2100 au lieu de 2145 ;
  - ✓ coût d'investissement relatif aux installations transverses : avancement des coûts liés au démantèlement à 2100 au lieu de 2145 ;
  - ✓ coût d'investissement relatif aux utilités externes : pas de changement ;
  - ✓ coût d'investissement relatif aux conteneurs de stockage : pas de changement ;
  - ✓ coût d'investissement relatif au système de transfert surface-fond des hottes : suppression des coûts de jouvence post 2100 et avancement des coûts de démantèlement à 2100 au lieu de 2145 ;
- maîtrise d'œuvre, assistance à maîtrise d'ouvrage réglementaire et maîtrise d'ouvrage : nous appliquons les mêmes pourcentages mais sur la base d'une assiette différente, qui correspond au montant d'investissement post 2070 ;
- assurance : nous n'appliquons pas de modification du montant mais raccourcissons la période. À partir de 2110, les travaux sont terminés et le site fermé (au lieu de 2155 dans l'option de projet 1) ;
- coûts de fonctionnement : ils sont inchangés jusqu'en 2070 qui est par ailleurs le pic des dépenses de fonctionnement dans l'option de projet 1, puis nous posons l'hypothèse que ces coûts décroissent linéairement jusqu'à 0 en 2100, année de la fin de fonctionnement (hors conteneurs de stockage MA-VL et assurances exploitation);

[91] Dans l'option 1, l'EP2 est construit en 2069. On pose l'hypothèse que si une technologie prospective est trouvée et dispose d'un site, l'investissement dans l'EP2 ne sera pas réalisé. Cela explique qu'il n'y ait pas précisément le même montant dans la branche commune (avant 2070).

- impôts et taxes : le niveau moyen des impôts et des taxes pour la période pendant laquelle seuls les déchets MA-VL sont stockés (2040-2080), soit 34 millions d'euros par an, est répété pour les années 2070 à 2100 ;
- pas de changement pour les activités sous maîtrise d'ouvrage Andra qui ne vont de toute façon que jusqu'en 2034.

Le Tableau Annexe 16.2-1 résume l'ensemble des coûts relatifs à Cigéo dans les branches de l'option 2, puis la Figure Annexe 16.2-1 en représente les flux dans le temps.

Tableau Annexe 16.2-1Coût brut de mise en place de Cigéo dans l'option 2, en M€$_{2019}$

Coût brut de mise en place de Cigéo dans l'option 2			
Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond	Dont branche commune (<2070)
Choix de gestion pour les HA		Technologie prospective	
Typologie de coût	Branches 2.1.a et 2.2	Branche 2.1.b	
Investissement et fonctionnement	19 333 M€	10 567 M€	8 198 M€
Assurance travaux, maîtrise d'œuvre/ d'ouvrage, impôts et taxes	5 352 M€	3 417 M€	2 303 M€
Autres activités (Andra)	1 125 M€	1 125 M€	1 125 M€
Coût brut total	25 811 M€	15 110 M€	11 627 M€

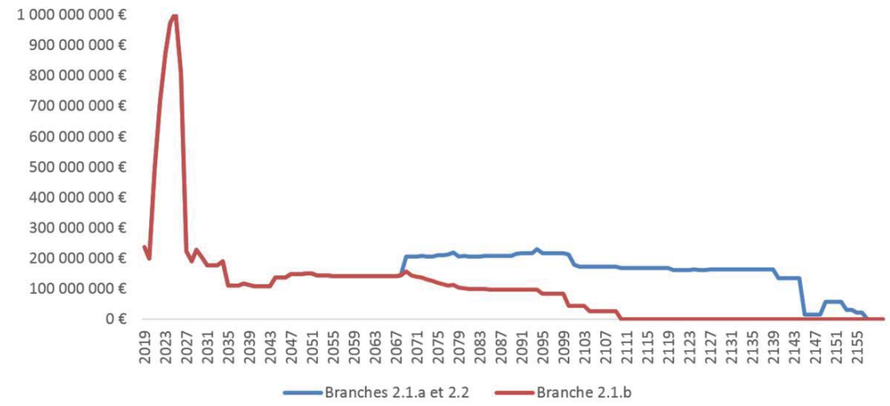


Figure Annexe 16.2-1 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo pour les branches de l'option 2

16.2.2 Coût de transport

Pour le transport des déchets MA-VL, le site de destination de l'option 2 reste conforme à ce qui est prévu dans l'option de projet 1 : quelle que soit la branche, les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond et sont transportés vers le centre de stockage Cigéo sans modification de la période de stockage de 2040 à 2100, précédés d'une phase industrielle pilote de 2030 à 2040. Les déchets sont donc transportés, comme dans l'option de projet 1, entre 2030 et 2095.

Pour le transport des déchets HA, le site de destination de l'option 2 et la période de stockage varient selon la branche considérée :

- Dans la branche 2.2 (où aucune technologie prospective pour gérer les déchets HA n'est trouvée avant 2070) et dans la branche 2.1.a (où une technologie prospective est trouvée pour gérer les déchets HA avant 2070, mais s'avère plus coûteuse que le stockage géologique), le transport des déchets HA s'effectue vers le centre de stockage Cigéo entre 2080 et 2145, de manière identique à ce qui intervient dans l'option de projet 1.
- Dans la branche 2.1.b (où une technologie prospective apparaît pour gérer les déchets HA avant 2070, où un site est trouvé et où le coût de la technologie prospective s'avère moins élevé que le stockage géologique), il serait alors nécessaire de transporter les déchets HA vers le lieu où la technologie prospective est implantée. Par simplification, étant donné qu'il est impossible d'anticiper le lieu d'implantation de la technologie prospective, les coûts de transports ainsi que les chroniques de livraison associées à cette technologie prospective sont considérés identiques à ceux du transport vers le centre de stockage Cigéo. Cette hypothèse conservatrice se justifie notamment par le fait que les coûts de transport utilisés dans ce rapport ne sont pas exprimés en euros par kilomètres parcourus mais en euros par m^3 de déchets transportés. Ainsi, peu importe la destination finale des déchets depuis leur site d'entreposage, ce rapport considère que les coûts de transport sont les mêmes.

À noter toutefois qu'une différence intervient dans le coût du transport entre les branches 2.1.a et 2.2 (qui sont similaires à l'option de projet 1 du projet Cigéo) et la branche 2.1.b, du fait de l'actualisation. Si, en effet, le coût brut est identique entre les options 1 et 2, la chronique de transport des déchets diffère et impacte donc le coût actualisé : dans la branche 2.1.b, les déchets HA sont stockés entre 2091 et 2155, et non entre 2080 et 2145, comme c'est le cas dans les branches 2.1.a et 2.2 (similaires à l'option de projet 1 du projet Cigéo), ce qui impacte le coût actualisé à la baisse.

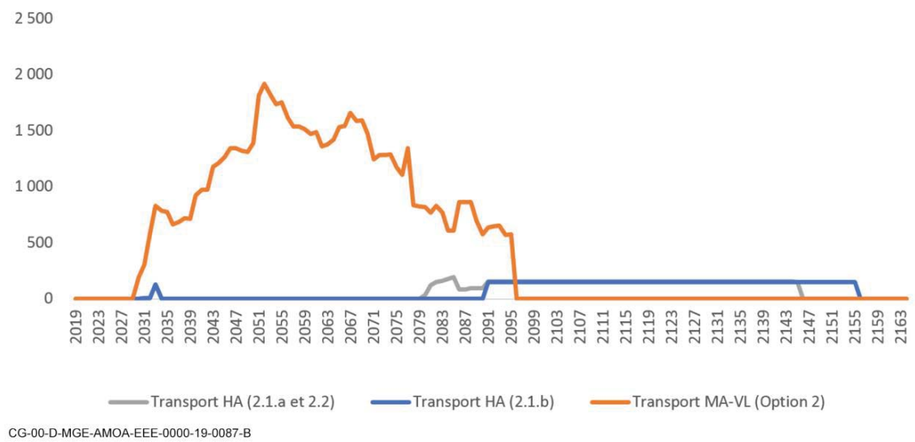


Figure Annexe 16.2-2 Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans l'option 2, en m^3

Tableau Annexe 16.2-2Coût brut de transport dans l'option 2, en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut de transport dans l'option 2			
Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond	Dont branche commune (<2070)
Choix de gestion pour les HA		Technologie prospective	
Typologie de coût	Branches 2.1.a et 2.2	Branche 2.1.b	
Coût de transport des déchets MA-VL	1 241 M€	1 241 M€	846 M€
Coût de transport des déchets HA	231 M€	231 M€	3 M €
Coût brut total	1 472 M€	1 472 M€	850 M€

16.2.3 Coût d'entreposage

Si une technologie prospective est trouvée et mise en place (branche 2.1.b), le stockage des déchets HA s'effectue entre 2091 et 2155, au lieu d'être effectué entre 2080 et 2145 au sein de Cigéo (branche 2.1.a). On note alors un **décalage de 10 ans** de l'année de début de la mise en stockage des déchets HA, se traduisant par une **prolongation de 10 ans de la période d'entreposage.**

Tableau Annexe 16.2-3Surcoût brut d'entreposage des déchets HA dans l'option 2 relativement celui de l'option de projet 1, en millions d'euros$_{2019}$

Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond
Choix de gestion pour les HA		Technologie prospective
Typologie de coût	Branches 2.1.a et 2.2	Branche 2.1.b
Surcoût de fonctionnement	0 M€	48 M€
Surcoût d'investissement	0 M€	(négligeable)
Surcoût brut total	0 M€	48 M€

Si aucune technologie prospective n'est trouvée (branche 2.2), alors le stockage des déchets HA et MA-VL dans Cigéo se fait avec un calendrier identique à celui de l'option de projet 1, sans surcoût d'entreposage (par rapport au coût d'entreposage de l'option de projet 1).

16.2.4 Coût de recherche de site

L'option 2 ne comprend pas de coût de recherche de site pour les déchets MA-VL, car ceux-ci sont stockés dans Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne quelle que soit la branche.

L'option 2 comprend un coût de recherche de site pour les déchets HA dans les trois branches, en lien avec la recherche d'une technologie prospective :

- ainsi, la phase 1 de recherche de site, correspondant à la période initiale d'identification du site (période de 23 ans dans le cas du site de Meuse/Haute-Marne, intervenue entre 1983 et 2006) est enclenchée dans l'ensemble des branches ;
- ensuite, à partir de 2070, les dépenses de recherche de site divergent selon le résultat de la recherche d'une technologie prospective (fructueux/non fructueux) et l'arbitrage de coût entre les deux technologies (stockage profond versus forage profond) :
  - ✓ à cette date, si une technologie prospective et un nouveau site sont identifiés, la phase 2 de recherche de site, correspondant à la caractérisation du site pour la technologie considérée (période de 19 ans dans le cas du site de Meuse/Haute-Marne, intervenue depuis 2007, jusqu'au décret d'autorisation de création), peut être enclenchée : c'est le cas de la branche 2.1.b ;
  - ✓ dans les deux autres branches, cette phase n'est pas enclenchée car elle n'est pas utile, soit par défaut de site identifié et/ou de technologie (branche 2.2), soit en raison de l'arbitrage budgétaire du décideur public en faveur du stockage profond et non du forage profond (branche 2.1.a).

Tableau Annexe 16.2-4Coût brut de recherche de site dans l'option 2, en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut de recherche de site dans l'option 2			
Choix de gestion pour les MA-VL	**Stockage géologique profond**	**Stockage géologique profond**	**Dont branche commune (<2070)**
Choix de gestion pour les HA		**Technologie prospective**	
Typologie de coût	**Branches 2.1.a et 2.2**	**Branche 2.1.b**	
Phase 1 d'identification du site	1 653 M€	1 653 M€	1 653 M€
Phase 2 de caractérisation du site	-	4 641 M€	-
Coût brut total	**1 653 M€**	**6 293 M€**	**1 653 M€**

16.2.5 Coût de R&D

Dans l'option 2 et quelle que soit l'issue de la recherche, la période de 2019 à 2070 est caractérisée par des dépenses de R&D pour trouver une technologie prospective pour les déchets HA, à hauteur de 70 millions d'euros par an.

16.2.6 La recherche n'est alors jugée fructueuse que si la technologie prospective trouvée est conforme au niveau de sûreté français et si un site est trouvé pour la recevoir. Coût d'une technologie prospective

Au-delà de 2070, seules les branches 2.1.a et 2.1.b illustrent des situations où la technologie prospective est trouvée.

Cependant, dans la branche 2.1.a, cette technologie prospective n'est pas mise en place car elle est jugée plus couteuse que le stockage géologique.

Dans la branche 2.1.b, cette technologie prospective est mise en place car elle est jugée moins couteuse que le stockage géologique. Il convient donc d'ajouter le coût de la construction et de fonctionnement de cette technologie prospective pour les déchets HA. Le coût est composé d'une part de l'extrapolation

du coût estimé dans la thèse de Bates ; d'autre part, d'autres coûts d'investissement et annexes (cf. chapitre 5.1 du présent document).

La Figure Annexe 16.2-3 ci-après représente les chroniques des différentes catégories de coûts pour la mise en place de la technologie prospective utilisée pour les déchets HA.

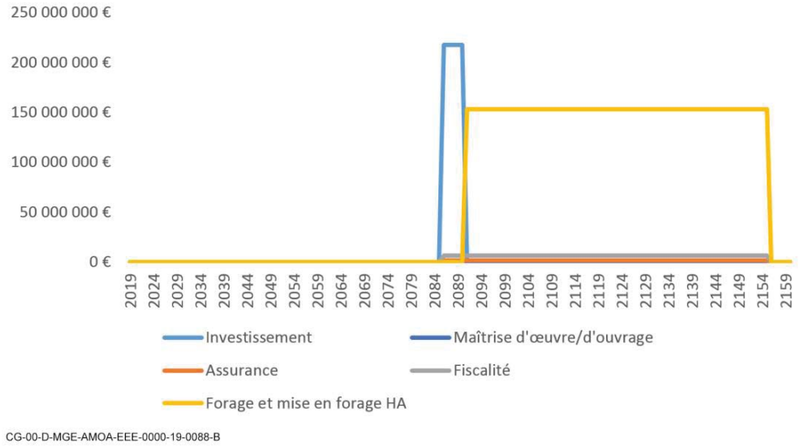


Figure Annexe 16.2-3 Chronique des coûts unitaires bruts de technologie prospective pour les déchets HA, de la branche 2.1.b, en euros$_{2019}$

Le Tableau Annexe 16.2-5 résume les coûts qui seraient à engager dans la branche 2.1.b pour la mise en place de la technologie prospective utilisée pour les déchets HA.

Tableau Annexe 16.2-5Coût brut de la technologie prospective dans l'option 2, en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut de la technologie prospective dans l'option 2	
Choix de gestion pour les MA-VL	**Stockage géologique profond**
Choix de gestion pour les HA	**Technologie prospective**
Typologie de coût	**Branche 2.1.b**
Forage et mise en forage	9 940 M€
Investissement (installations conventionnelles de surface ; liaisons surface-fond et ouvrages souterrains ; utilités externes et aménagements hors site)	1 086 M€
Maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage	60 M€
Fiscalité	452 M€
Assurance	100 M€
Coût brut total	**11 637 M€**

16.3 Coût de l'option 2 avec prise en compte des prix relatifs

Les chroniques présentées ci-dessous concernent l'approche déterministe des prix relatifs dans les branches distinctes de l'option 2.

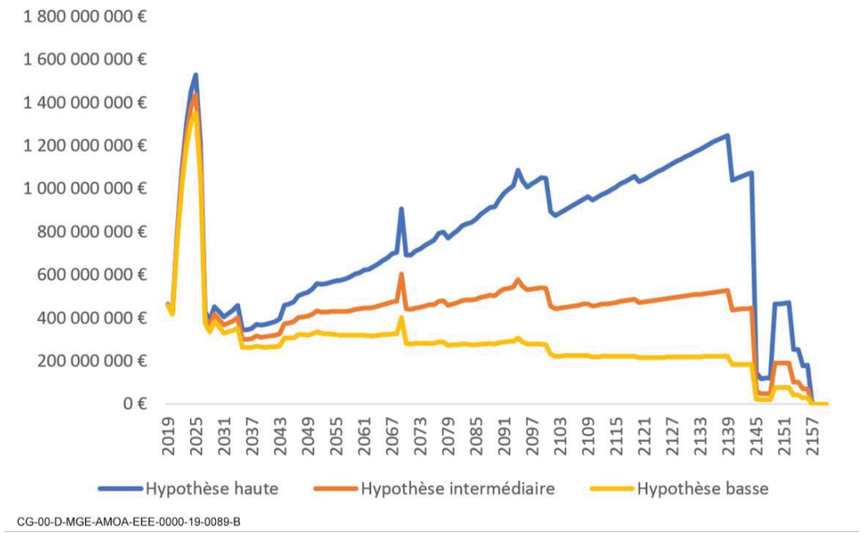


Figure Annexe 16.3-1 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branches 2.1.a et 2.2, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario OK

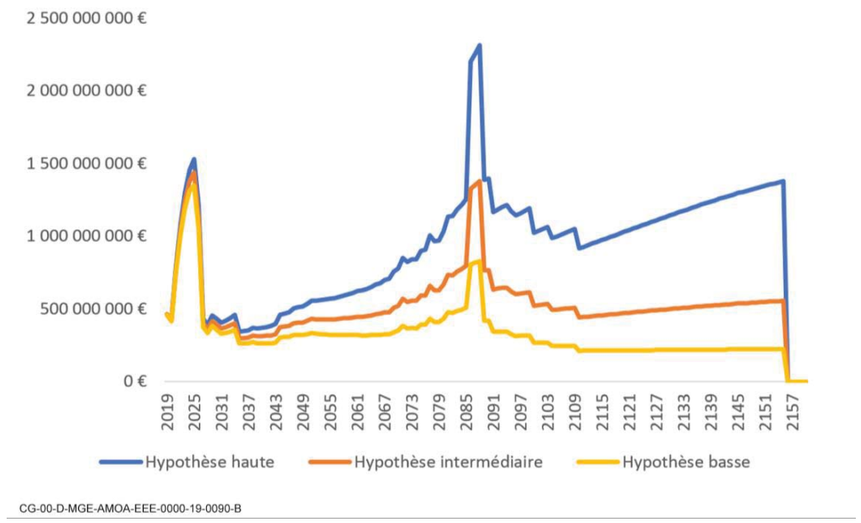


Figure Annexe 16.3-2 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branche 2.1.b, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario OK

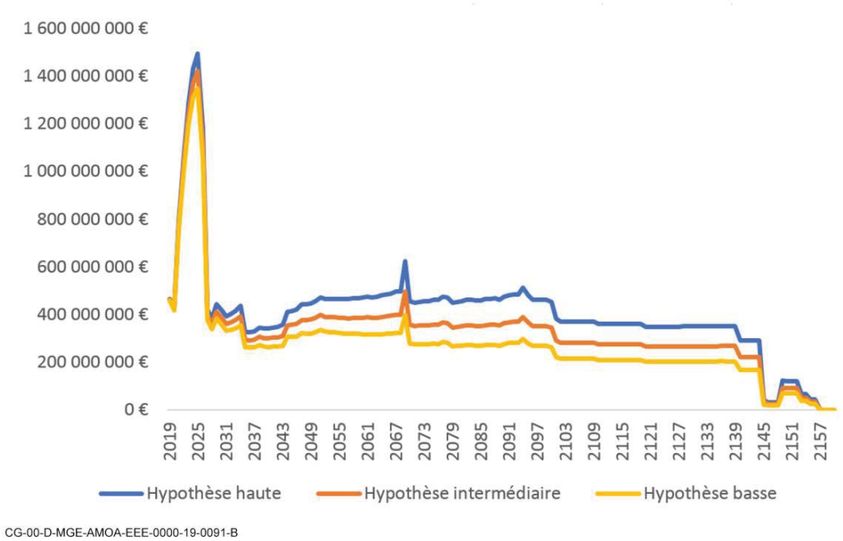


Figure Annexe 16.3-3 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branches 2.1.a et 2.2, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario KO

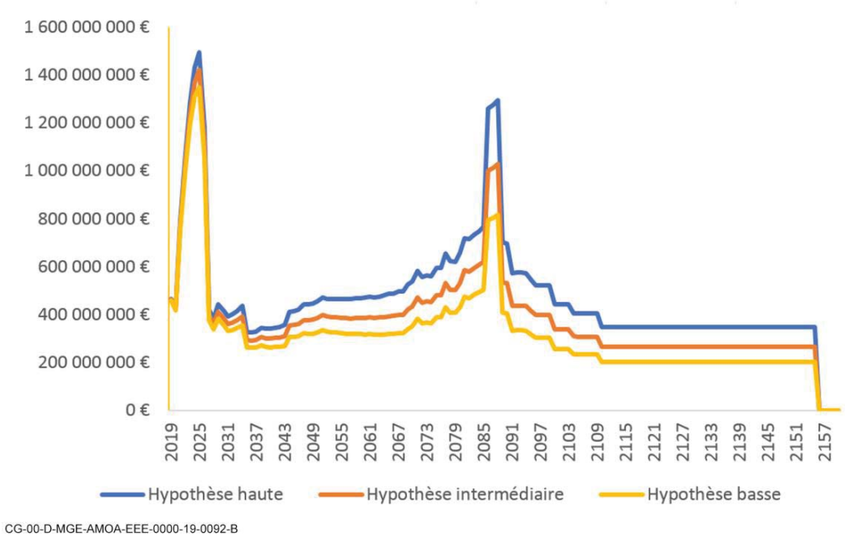


Figure Annexe 16.3-4 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branche 2.1.b, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario KO

16.4 Coût actualisé de l'option 2

16.4.1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK

Tableau Annexe 16.4-1Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK

Option 2 Scénario OK	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Actualisation haute	12 771 M€	1 640 M€	9 187 M€	16 345 M€	10 234 M€ ; 15 336 M€
Actualisation faible	18 225 M€	2 395 M€	13 099 M€	23 469 M€	14 501 M€ ; 21 952 M€
Actualisation intermédiaire	16 013 M€	2 080 M€	11 399 M€	20 498 M€	12 754 M€ ; 19 261 M€

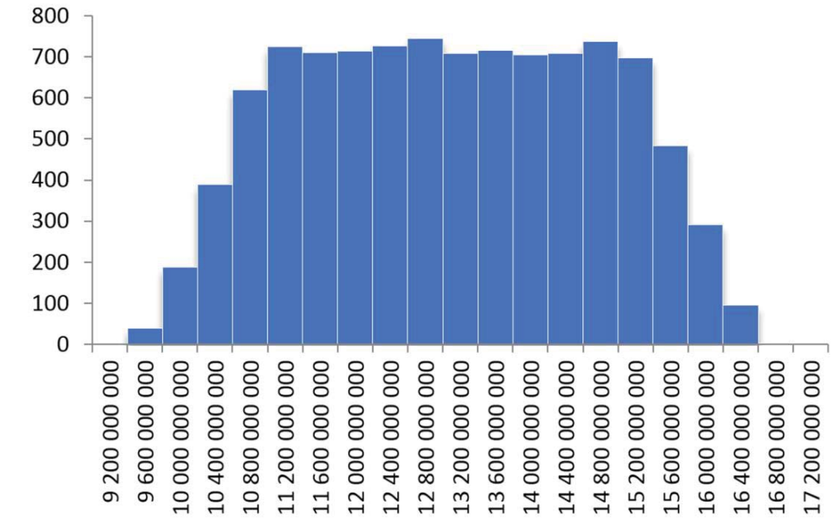


Figure Annexe 16.4-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario OK

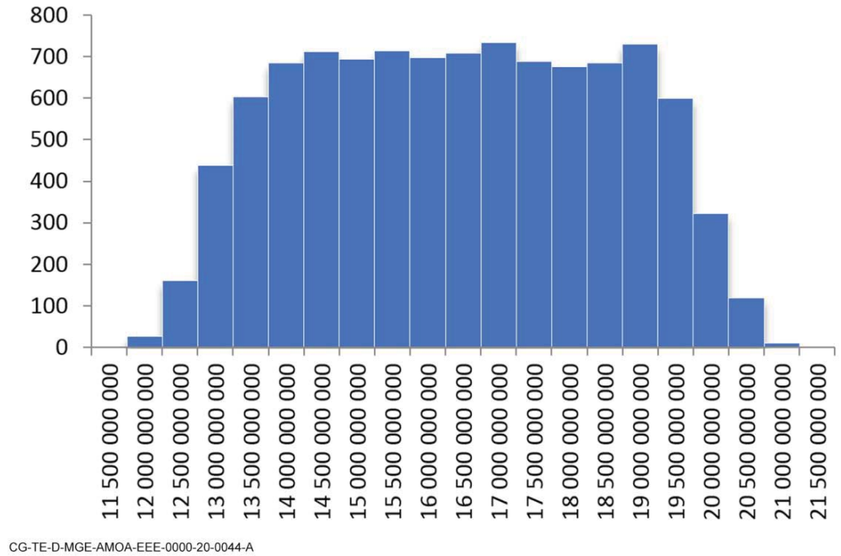


Figure Annexe 16.4-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario OK

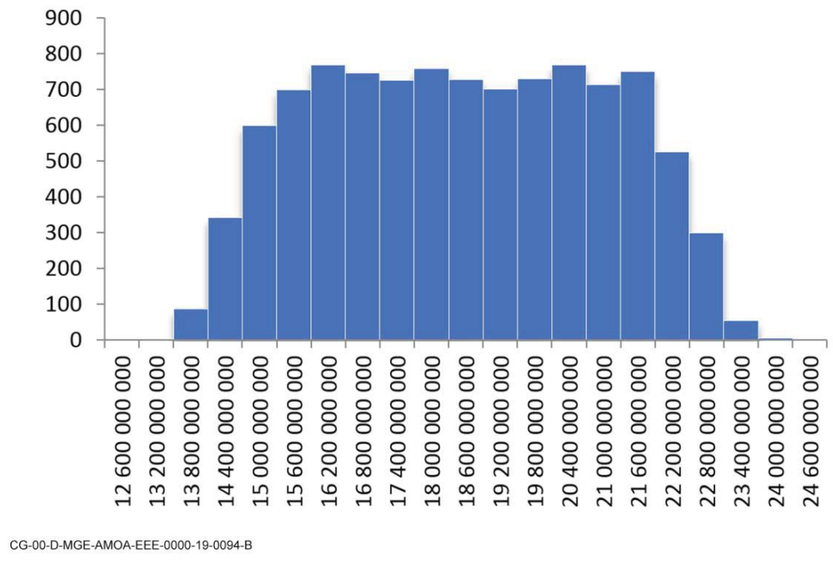


Figure Annexe 16.4-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario OK

16.4.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO

Tableau Annexe 16.4-2Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO

Option 2 Scénario KO	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Actualisation haute	15 140 M€	1 936 M€	10 854 M€	19 507 M€	12 111 M€ ; 18 156 M€
Actualisation faible	27 726 M€	3 783 M€	19 666 M€	35 639 M€	21 814 M€ ; 33 599 M€
Actualisation intermédiaire	21 046 M€	2 773 M€	15 057 M€	26 810 M€	16 710 M€ ; 25 374 M€

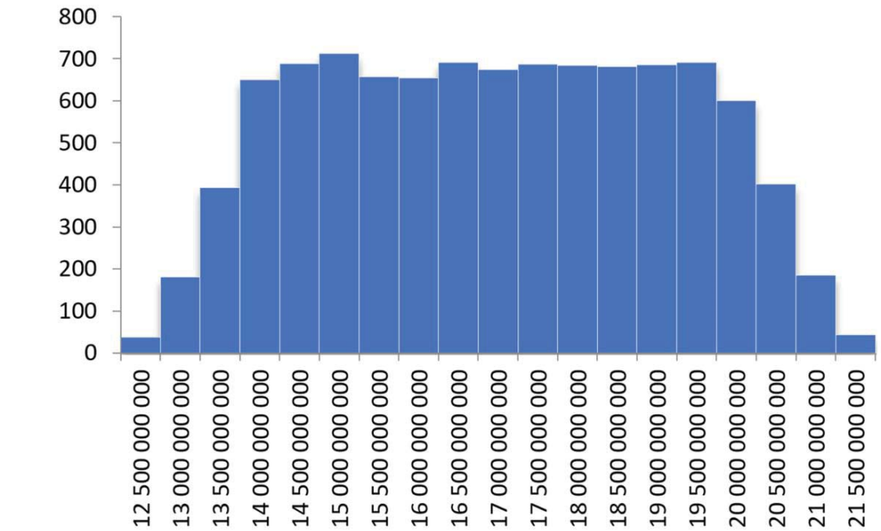


Figure Annexe 16.4-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario KO

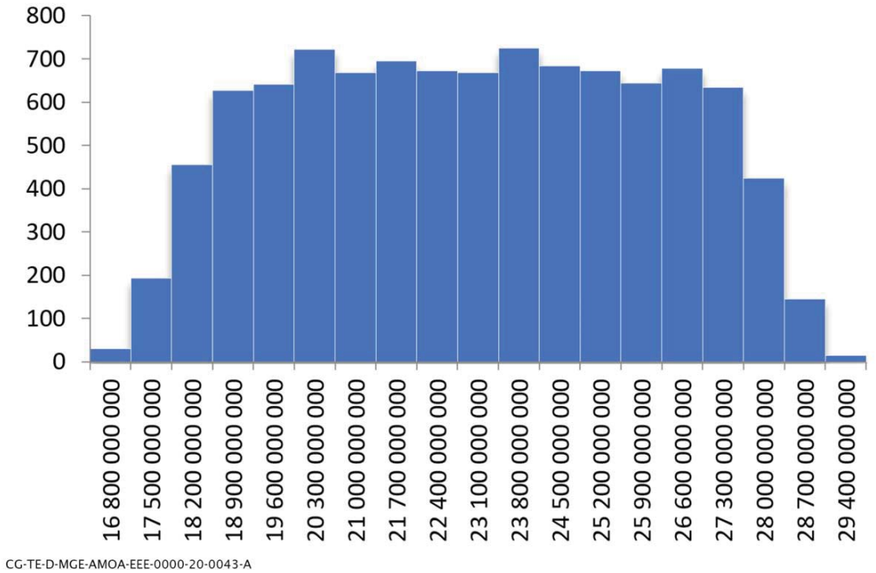


Figure Annexe 16.4-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario KO

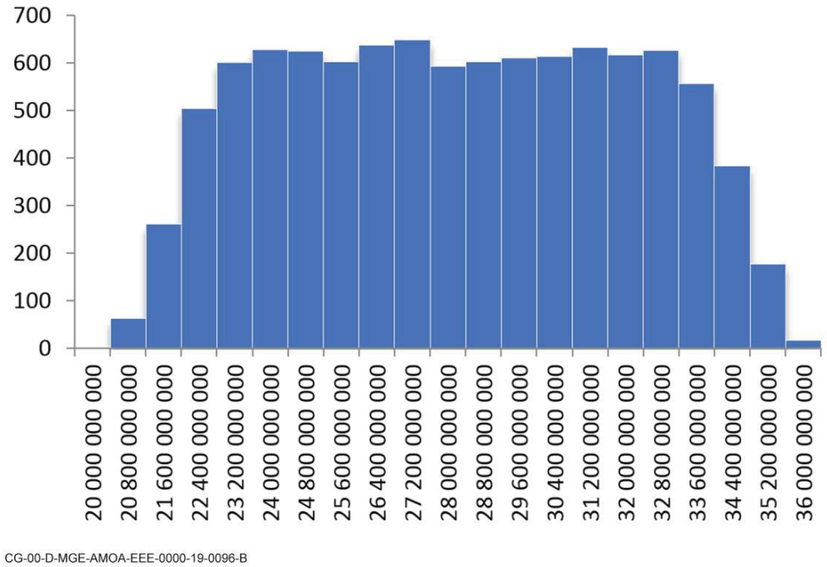


Figure Annexe 16.4-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario KO

Annexe 17 Détail des coûts et représentation graphique de l'option 3

17.1 Hypothèses de l'option 3

Tableau Annexe 17.1-1Solutions de gestion de l'option 3

Branches de l'option 3	Solution de gestion pour les MA-VL	Solution de gestion pour les HA
Branche 3.1.a	Technologie prospective (forage profond)	Technologie prospective (forage profond)
Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond
Branches 3.1.c et 3.2.a	Stockage géologique profond	Technologie prospective (forage profond)

Tableau Annexe 17.1-2Hypothèses de l'option 3 - Branche 3.1.a

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[92]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2019-2089	10 571 M€		
Dont phase industrielle pilote	2030-2040		80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont stockage MA-VL	N/A			
Dont stockage HA	N/A			
Transport	2030-2155	1 582 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour phase industrielle pilote	2030-2039	110 M€		
Dont pour stockage HA	2091-2155	231 M€		
Dont pour stockage MA-VL	2091-2150	1 241 M€		
GIP	2019-2025	420 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2088	6 294 M€		H : 1 puis 0,1

[92] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[92]
Dont phase 1	2019-2069	1 653 M€		I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 2	2070-2088	4 641 M€		
Technologie prospective	2086-2155	50 436 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont coût annexe au forage profond	2086-2090	2 248 M€		
Dont mise en forage profond HA	2091-2155	10 087 M€		
Dont mise en forage profond MA-VL	2091-2155	36 658 M€		
Dont densification MA-VL	2091-2155	1 443 M€		
Entreposage	2040-2150	3 243 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2155	48 M€		
Dont MA-VL	2040-2150	3 195 M€		

Tableau Annexe 17.1-3Hypothèses de l'option 3 - Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[93]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2019-2156	26 737 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2030-2040			
Dont stockage MA-VL	2070-2130			
Dont stockage HA	2080-2145			
Transport	2030-2145	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour phase industrielle pilote	2030-2039	110 M€		
Dont pour stockage HA	2080-2145	228 M€		
Dont pour stockage MA-VL	2070-2125	1 135 M€		
GIP	2019-2025	420 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0

[93] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[93]
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2069	1 653 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage (MA-VL uniquement)	2040-2125	2 102 M		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1

Tableau Annexe 17.1-4Hypothèses de l'option 3 - Branches 3.1.c et 3.2.a

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[94]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2019 - 2139	16 813 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2030-2040			
Dont stockage MA-VL	2070-2130			
Dont stockage HA	N/A			
Transport	2030-2155	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour phase industrielle pilote	2030-2039	110 M€		
Dont pour stockage HA	2091-2155	228 M€		
Dont pour stockage MA-VL	2070-2125	1 135 M€		
GIP	2019-2025	420 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0

[94] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[94]
Recherche de site	2019-2088	6 294 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069	1 653 M€		
Dont phase 2	2070-2088	4 641 M€		
Technologie prospective	2086-2155	11 637 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont constructions annexes	2086-2090	1 697 M€		
Dont mise en forage HA	2091-2155	9 940 M€		
Entreposage	2040-2155	2 150 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2155	48 M€		
Dont MA-VL	2040-2125	2 102 M€		

17.2 Coûts unitaires de l'option 3

17.2.1 Coût de mise en place de Cigéo

Dans cette option d'investissement, les coûts relatifs à la mise en place de Cigéo sont identiques à ceux de l'option de projet 1, jusqu'en 2040. Au-delà, dans l'option de projet 1, le stockage des déchets MA-VL démarre, alors que dans l'option 3, la décision est prise, le cas échéant, de décaler le stockage des déchets dans Cigéo à partir de 2070. Les coûts associés à la mise en place de Cigéo pour les différentes situations peuvent donc être découpés en trois périodes :

- **De 2019 jusqu'à la prise de décision du report, vers 2040** : sur cette période, il n'y a pas de modification des investissements et de la chronique de stockage des déchets par rapport à l'option de projet 1. De ce fait, la chronique de coûts de l'option 3 est identique à celle de l'option de projet 1. Ainsi, des coûts de fonctionnement liés aux essais sont appliqués de 2029 à 2040 pour tenir compte du stockage des premiers colis de la phase industrielle pilote. Aucun changement ne s'applique aux coûts des activités sous maîtrise d'ouvrage Andra, qui sont prévus uniquement jusqu'en 2034, conformément au calendrier illustratif de l'option de projet 1 ;
- **Durant la période de report du stockage des MA-VL, de 2040 jusqu'à la prise de décision vers 2070** : à partir de 2040, seuls les coûts de jouvence et de fiscalité sont maintenus, de façon à pouvoir « reprendre » le stockage profond dans Cigéo dès 2070 si la recherche d'une technologie prospective est infructueuse (pour l'ensemble des déchets HA et MA-VL dans les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3, ou seulement pour les déchets HA dans les branches 3.1.c et 3.2.a) ;
- **Au-delà de 2070** : les coûts post-2070 sont détaillés par branche ci-après, selon la situation rencontrée.

Branche 3.1.a – les déchets HA et MA-VL sont finalement gérés par une technologie prospective, après retrait des premiers déchets mis en stockage profond au sein de Cigéo durant la phase industrielle pilote

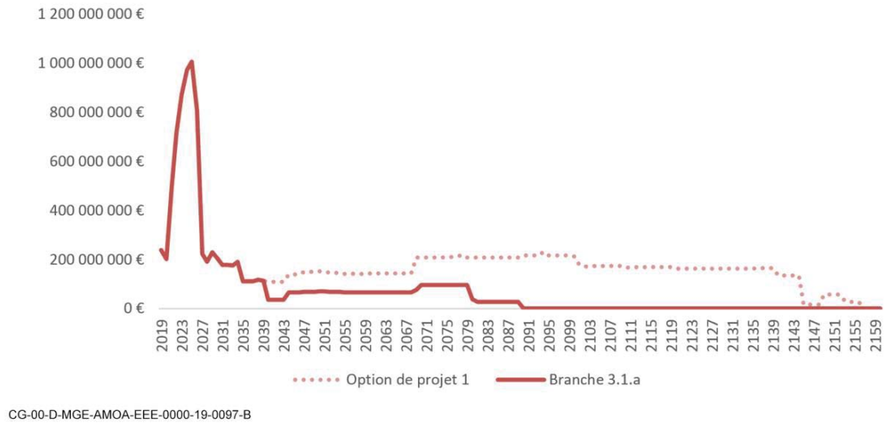


Figure Annexe 17.2-1 Comparaison des chroniques des coûts de mise place de Cigéo dans la branche 3.1.a et dans l'option de projet 1

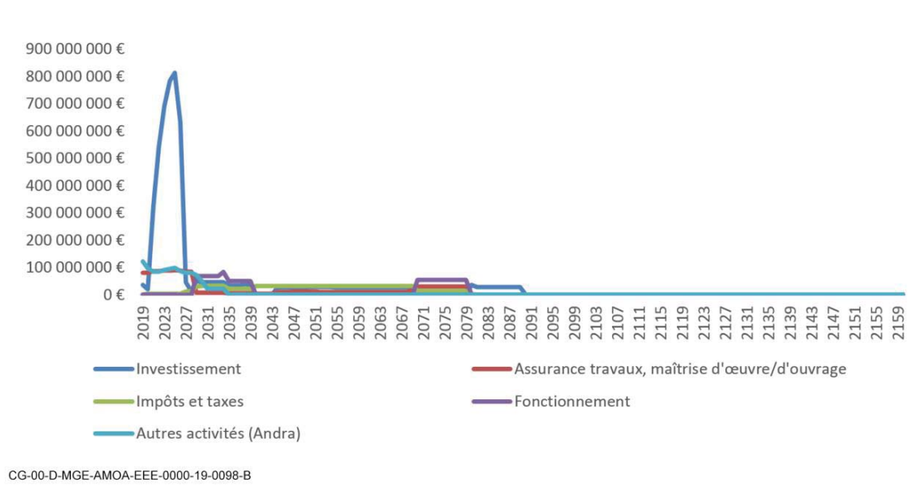


Figure Annexe 17.2-2 Chroniques des coûts de mise place de Cigéo pour la branche 3.1.a (retrait des premiers déchets HA et MA-VL de Cigéo), par type de coût

Concernant les **coûts d'investissements**, seuls sont conservés les coûts liés au démantèlement qui a lieu entre 2080 et 2089 dans cette branche (alors qu'il a lieu entre 2145 et 2155 dans l'option de projet 1).

Concernant les **coûts de fonctionnement**, des coûts apparaissent entre 2070 et 2080, et représentent les coûts nécessaires pour retirer les premiers déchets HA0 et MA-VL stockés pendant la phase

industrielle pilote. Ces coûts sont donc égaux à ceux observés sur la période 2030 à 2040, lors de la phase industrielle pilote pour la mise en stockage de ces premiers déchets HA0 et MA-VL.

Concernant les **autres coûts** (assurances travaux, maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage, impôts et taxes) entre 2070 et 2080, ceux-ci sont supposés égaux à la moyenne annuelle de ces mêmes coûts lors du stockage de la phase industrielle pilote des premiers déchets HA0 et MA-VL sur la période 2030 à 2040, pour être ensuite ramenés à zéro après 2080.

Branches 3.1.c et 3.2.a – les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, alors que les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

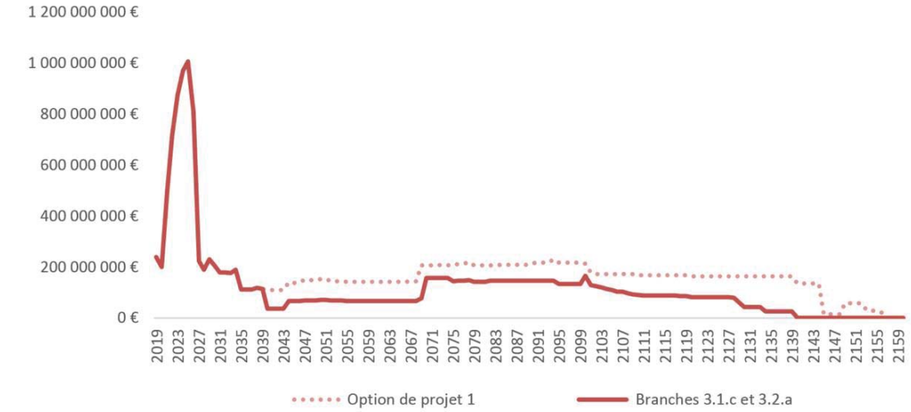


Figure Annexe 17.2-3 Comparaison des chroniques des coûts de mise place de Cigéo dans les branches 3.1.c et 3.2.a (déchets MA-VL uniquement dans Cigéo) et dans l'option de projet 1

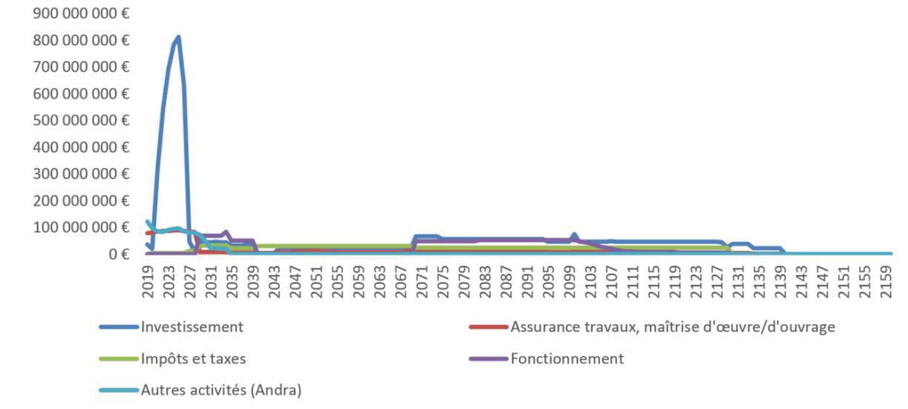


Figure Annexe 17.2-4 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo dans les branches 3.1.c et 3.2.a (déchets MA-VL uniquement dans Cigéo), par type de coûts

Après 2070, tous les coûts d'investissements relatifs aux déchets MA-VL suspendus depuis 2040, sont relancés. Le démantèlement des opérations liées aux déchets HA peut commencer, pour se terminer au maximum en 2080.

La mise en stockage profond des déchets MA-VL dans Cigéo peut commencer dès 2070, l'ensemble des constructions nécessaires ayant été réalisées. Afin d'isoler les dépenses nécessaires en phase de fonctionnement, nous procédons comme suit :

- pour les **coûts de fonctionnement**, nous supposons des coûts égaux à ceux de la branche 2.1.b de l'option 2 décalés de 30 ans ;
- pour les **coûts d'assurances travaux, de maîtrise d'œuvre et d'ouvrage,** de la même manière, nous supposons des coûts égaux à ceux de la branche 2.1.b de l'option 2 décalés de 30 ans ;
- pour les **coûts de fiscalité**, nous utilisons la moyenne annuelle de ces mêmes coûts considérés dans l'option de projet 1 entre 2040 et 2080, période où seuls les déchets MA-VL sont stockés dans Cigéo.

Le démantèlement est supposé avoir lieu sur 10 ans, entre 2130 et 2139.

Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

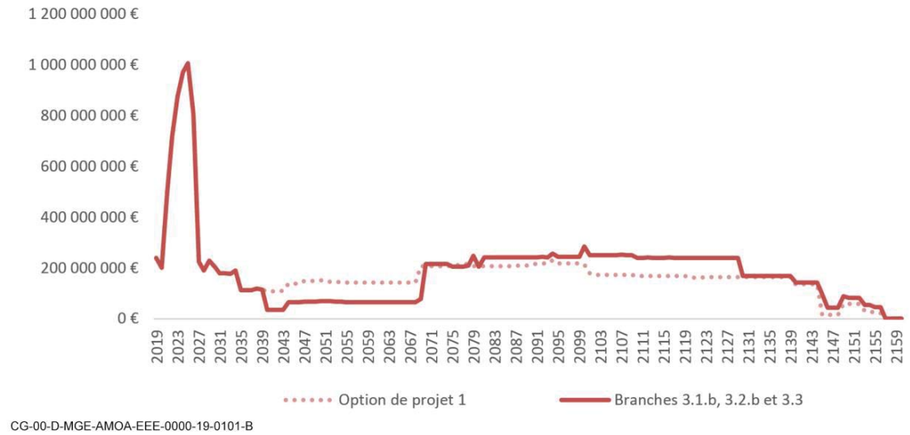


Figure Annexe 17.2-5 Comparaison des chroniques de coûts de mise en place de Cigéo dans les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 (déchets HA et MA-VL dans Cigéo), et dans l'option de projet 1

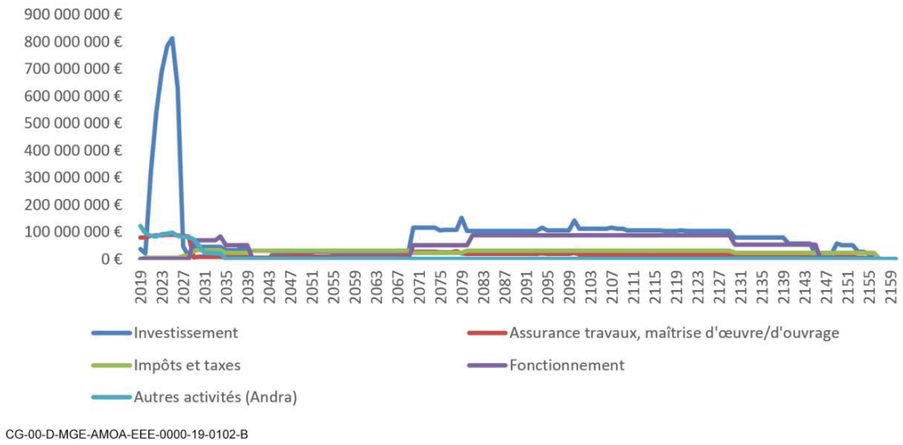


Figure Annexe 17.2-6 Chronique de coûts de mise en place de Cigéo dans les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 (déchets HA et MA-VL dans Cigéo) par type de coûts

Après 2070, **tous les coûts d'investissements** relatifs aux HA et MA-VL sont relancés.

La mise en stockage profond des déchets MA-VL, suspendue en 2040, peut reprendre dès 2070, l'ensemble des constructions initiales nécessaires ayant été réalisées. Afin d'isoler les dépenses nécessaires, nous procédons comme suit :

- pour **les coûts de fonctionnement,** nous procédons en trois étapes :
  - ✓ de 2070 à 2080, les coûts de fonctionnement sont supposés égaux à ceux de la période 2040 à 2050 en option de projet 1 : les déchets MA-VL sont en effet les seuls à être stockés ;
  - ✓ de 2130 à 2145, où seuls les déchets HA sont stockés dans cette branche, les coûts de fonctionnement sont supposés égaux à ceux de la même période en option de projet 1 ;
  - ✓ entre 2080 et 2130, les déchets HA et MA-VL sont mis en stockage profond au sein de Cigéo. Nous soustrayons au coût de fonctionnement total de Cigéo les deux coûts de fonctionnement estimés ci-dessus, et étalons le restant des coûts de fonctionnement entre ces deux dates. Ainsi, nous obtenons un coût de fonctionnement identique à celui de Cigéo en option de projet 1.
- pour les **dépenses de fiscalité**, nous avons également procédé en trois étapes :
  - ✓ de 2070 à 2080, nous avons mobilisé la moyenne annuelle des coûts de fiscalité lorsque seuls les déchets MA-VL sont mis en stockage profond au sein de Cigéo en option de projet 1 ;
  - ✓ de 2130 à 2145, la moyenne annuelle des coûts de fiscalité lorsque seuls les déchets HA sont mis en stockage profond en option de projet 1 ;
  - ✓ entre 2080 et 2130, la moyenne annuelle des coûts de fiscalité lorsque les déchets HA et MA-VL sont mis en stockage profond au sein de Cigéo en option de projet 1.
- pour les **coûts d'assurances travaux, de maîtrise d'œuvre et d'ouvrage**, une logique de ratios identique à celle décrite ci-dessus est appliquée ;

Le démantèlement est supposé avoir lieu sur 10 ans, entre 2145 et 2156, comme dans l'option de projet 1.

La Figure Annexe 17.2-7 représente la chronique de l'ensemble des coûts relatifs à Cigéo, dans les 3 branches distinctes de l'option 3. Les courbes divergent après 2070.

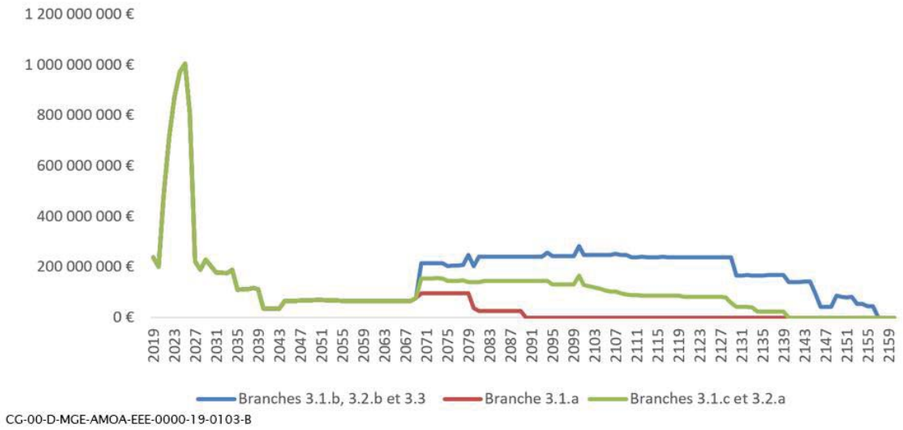


Figure Annexe 17.2-7 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo dans les branches de l'option 3

Le tableau ci-dessous résume les coûts relatifs à la mise en place de Cigéo dans les branches distinctes de l'option 3.

Tableau Annexe 17.2-1 Coût brut de mise en place de Cigéo dans l'option 3, en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut de mise en place de Cigéo dans l'option 3				
Choix de gestion pour les MA-VL	Technologie prospective	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond	Dont branche commune (<2070)
Choix de gestion pour les HA			Technologie prospective	
Typologie de coût	Branche 3.1.a	Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3	Branches 3.1.c et 3.2.a	
Investissement et fonctionnement	6 510 M€	19 337 M€	11 096 M€	5 693 M€
Assurance travaux, maîtrise d'œuvre/ d'ouvrage, impôts et taxes	2 935 M€	6 275 M€	4 591 M€	2 503 M€
Autres activités (Andra)	1 125 M€	1 125 M€	1 125 M€	1 125 M€
Coût brut total	10 571 M€	26 737 M€	16 813 M€	9 322 M€

17.2.2 Coût de transport

Dans l'option 3, le transport des déchets radioactifs est identique dans l'ensemble des branches jusqu'en 2070 :

- jusqu'en 2040, le transport des premiers déchets radioactifs HA0 et MA-VL s'effectue vers le centre de stockage Cigéo pour la phase industrielle pilote ;
- sur la période entre 2040 et 2070 : aucun transport n'intervient, car en effet, on décale le stockage des déchets MA-VL par rapport à l'option de projet 1, pour se laisser le temps de la recherche de 2040 à 2070 ;
- à partir de 2070, le transport reprend, soit vers le centre de stockage Cigéo, soit vers le site de la technologie prospective, selon le mode de gestion retenu dans la branche considérée.

Branche 3.1.a – les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective, après retrait des premiers déchets mis en stockage profond au sein de Cigéo durant la phase industrielle pilote

La branche 3.1.a correspond à la situation où une technologie prospective est trouvée et mise en place pour les déchets HA et MA-VL. L'ensemble des déchets est transporté entre 2091 et 2155 vers le site de la technologie prospective. On note que les déchets de la phase industrielle pilote sont transportés deux fois : une fois vers le centre de stockage Cigéo, et une fois vers le site de la technologie prospective. Cette branche présente donc des coûts de transport bruts qui divergent de l'option de projet 1.

On note que la chronique de transport des déchets MA-VL est lissée dans le cas du forage profond. En effet, ne sachant pas quelle sera le rythme de stockage en forage profond, nous posons l'hypothèse d'un rythme constant sur la période.

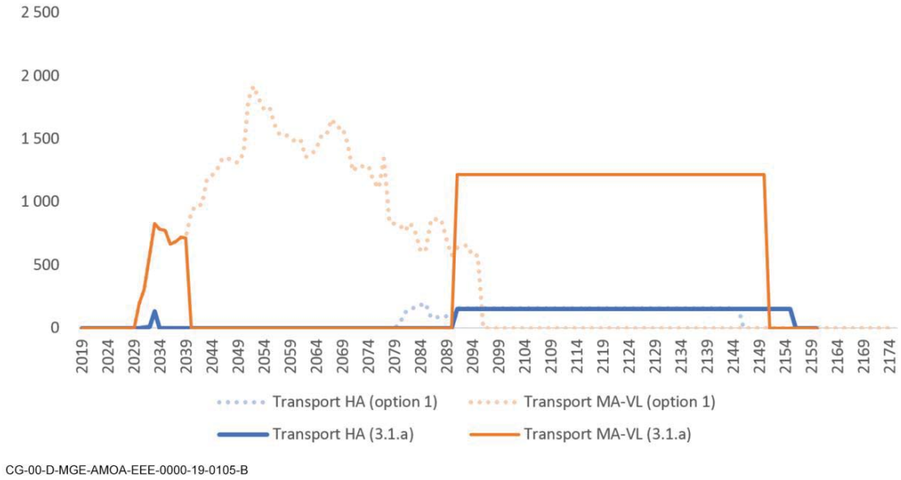
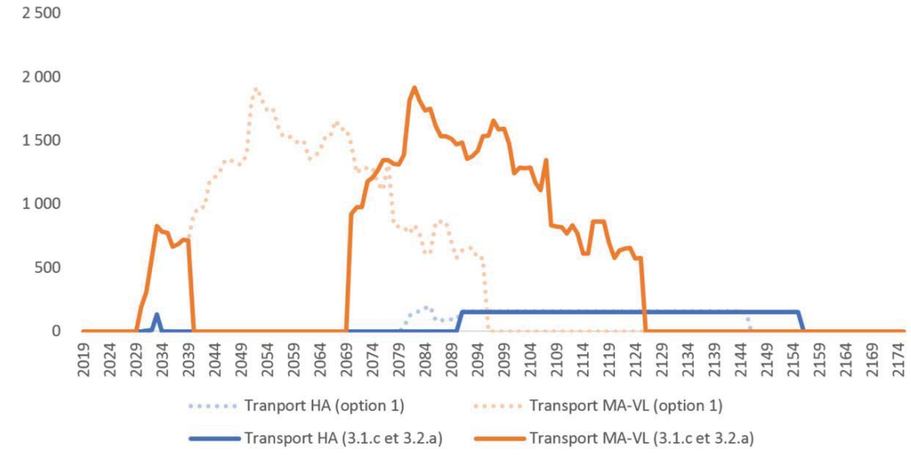


Figure Annexe 17.2-8 Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans la branche 3.1.a, en m³

Branches 3.1.c et 3.2.a – les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, alors que les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Les branches 3.1.c et 3.2.a correspondent à la situation où la technologie prospective est mise en place uniquement pour les déchets HA. La chronique de transport des déchets HA est dès lors identique à celle de la branche 2.1.b de l'option 2. Concernant les déchets MA-VL, la chronique est celle de l'option de projet 1 décalée de 30 ans : le stockage des déchets MA-VL commence en effet seulement en 2070 (alors qu'il débute en 2040 dans l'option de projet 1). Le transport de déchets en phase industrielle pilote (2030-2039) reste lui identique.

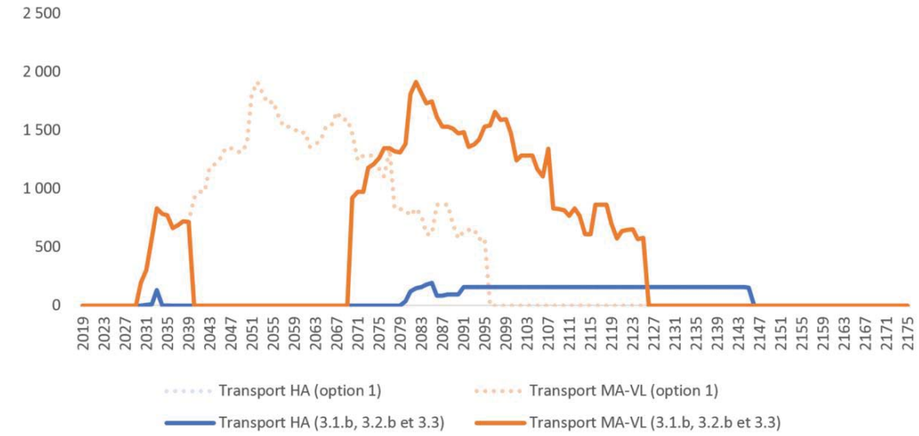


CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0106-B

Figure Annexe 17.2-9 Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans les branches 3.1.c et 3.2.a, en m³

Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

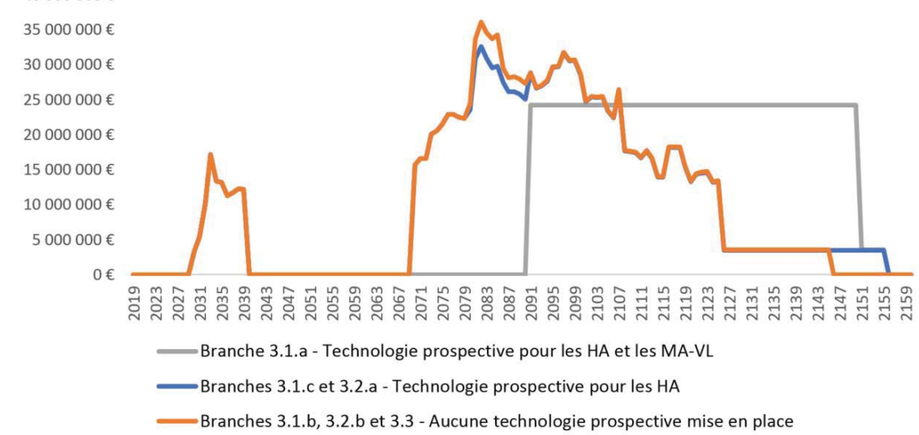
Les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 correspondent à la situation où aucune technologie prospective ni site associé ne sont trouvés ou mis en place en raison d'un coût trop élevé. Le transport des déchets HA, qui sont stockés aux mêmes dates que dans l'option de projet 1, est donc inchangé. Les déchets MA-VL en phase industrielle sont eux, comme dans les branches 3.1.c et 3.2.a, transportés selon la chronique de l'option de projet 1décalée de 30 ans.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0107-B

Figure Annexe 17.2-10Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3, en m³

Le graphique suivant représente les coûts de transports des branches de l'option 3. On observe que la chronique diverge après 2070.



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0110-B

Figure Annexe 17.2-11Chronique des coûts de transport des déchets HA et MA-VL pour les branches de l'option 3

Enfin, le tableau suivant résume le montant des coûts bruts de transport des branches de l'option 3. En ayant posé l'hypothèse d'un coût en €/m³ identique quelle que soit la technologie retenue, on observe que les coûts bruts sont identiques dans les branches utilisant le stockage profond pour les déchets MA-VL seuls ou couplés aux déchets HA, mais sont supérieurs dans la branche 3.1.a. Cette branche 3.1.a présente la particularité que les premiers déchets stockés lors de la phase industrielle pilote doivent être

transportés deux fois : vers le site de stockage profond, puis vers le site de la technologie prospective après retrait.

Tableau Annexe 17.2-2Coût brut de transport dans l'option 3, en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut de transport dans l'option 3				
Choix de gestion pour les MA-VL / Choix de gestion pour les HA / Typologie de coût	Technologie prospective – Branche 3.1.a	Stockage géologique profond – Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3	Stockage géologique profond – Technologie prospective – Branches 3.1.c et 3.2.a	Dont branche commune (<2070)
Déchets MA-VL et HA0	1 348 M€	1 241 M€	1 241 M€	110 M€
Déchets HA	234 M€	231 M€	231 M€	-
Coût brut total	1 582 M€	1 472 M€	1 472 M€	110 M€

17.2.3 Coût d'entreposage

Branche 3.1.a– les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective, après retrait des premiers déchets mis en stockage profond au sein de Cigéo durant la phase industrielle pilote

Le coût d'entreposage est le suivant :

- pour les déchets HA : dans l'option de projet 1, les déchets HA sont stockés dans le centre de stockage Cigéo en 2080 ; dans cette branche 3.1.a, les déchets sont évacués vers la technologie prospective à partir de 2090, soit un décalage de 10 ans de la durée d'entreposage, entrainant des coûts supplémentaires de fonctionnement des installations temporaires d'entreposage. La chronique des coûts d'entreposage est identique à celle de la branche 2.1.b de l'option 2. Ainsi, les surcoûts d'entreposage sont identiques à la branche 2.1.b de l'option 2 ;
- pour les déchets MA-VL : dans cette branche 3.1.a, les déchets MA-VL sont évacués vers le site de la technologie prospective à partir de 2090, et non à partir de 2040 comme dans l'option de projet 1. Ainsi, l'entreposage est prolongé de 50 ans.

Branche 3.1.c et 3.2.a – les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, alors que les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Le coût d'entreposage est le suivant :

- pour les déchets HA : situation identique à celle de la branche 3.1.a ; le surcoût d'entreposage est donc identique à celui de la branche 2.1.b de l'option 2 ;
- pour les déchets MA-VL : aucune technologie prospective n'est trouvée pour les déchets MA-VL. Leur mise en stockage dans Cigéo est toutefois décalée par rapport à l'option de projet 1, et ne commence ici qu'à partir de 2070, à la fin de la période de R&D. Ainsi, les déchets MA-VL sont entreposés dans cette branche 30 ans de plus que dans l'option de projet 1.

Branche 3.1.b, 3.2.b, 3.3 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Le coût d'entreposage est le suivant :

- pour les déchets HA : les déchets HA sont stockés dans cette branche à partir de 2080, tout comme dans l'option de projet 1. Ainsi, nous ne retenons aucun surcoût ;
- pour les déchets MA-VL : situation identique à celle des branches 3.1.c et 3.2.a.

Tableau Annexe 17.2-3Coût brut d'entreposage de l'option 3, en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage de l'option 3			
Choix de gestion pour les MA-VL / Choix de gestion pour les HA / Typologie de coût	Technologie prospective – Branche 3.1.a	Stockage géologique profond – Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3	Stockage géologique profond – Technologie prospective – Branches 3.1.c et 3.2.a
Déchets MA-VL	3 195 M€	2 102 M€	2 102 M€
Déchets HA	48 M€	(négligeable)	48 M€
Coût brut total	3 243 M€	2 102 M€	2 150 M€

17.2.4 Coût de R&D

Les coûts de R&D sont identiques dans toutes les branches de l'option 3. Un total de 140 millions d'euros est dépensé chaque année de 2019 jusqu'en 2070.

17.2.5 Coût de recherche de site

Dans les branches 3.1.a, ainsi que 3.1.c et 3.2.a, dans lesquelles les déchets radioactifs sont gérés par une technologie prospective, les coûts de recherche de site sont identiques à ceux de l'option 2.1.b[95] et détaillés dans le chapitre 5.1 du présent document.

L'hypothèse a en effet été posée que les coûts de recherche de site pour une technologie prospective sont identiques que l'on cherche un site pour tous les déchets, ou pour les déchets MA-VL seuls ou pour les déchets HA seuls.

17.2.6 Coût de technologie prospective

Les coûts de mise en place de la technologie prospective divergent selon la branche considérée.

Branche 3.1.a– les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective, après retrait des premiers déchets mis en stockage profond au sein de Cigéo durant la phase industrielle pilote

[95] Pour la branche 3.1.a, il est vraisemblable que ce coût, qui est identique aux branches 3.1.c et 3.2.a et à la branche 2.1.b de l'option 2, soit sous-estimé alors que les surfaces à rechercher sont supérieures afin de pouvoir mettre en place la technologie prospective pour les HA et pour les MA-VL. A défaut d'hypothèses crédibles pour accroître ce coût, nous le laissons tel quel.

Une technologie prospective est trouvée et mise en place pour les déchets HA et les déchets MA-VL.

- Pour les déchets HA, ce coût est identique à celui dérivé dans la branche 2.1.b de l'option 2, augmenté de coûts de mise en forage des déchets HA0 (qui restent stockés au sein de Cigéo pour l'option 2).
- Pour les déchets MA-VL, la première étape concerne le processus de densification des déchets. La mise en forage profond des déchets MA-VL nécessite une reprise de leur conditionnement. Cette reprise pourrait s'accompagner d'un traitement visant à réduire le volume de ces déchets pour optimiser l'espace de stockage. En s'appuyant sur les travaux du CEA réalisés dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, hypothèse est faite d'une réduction d'un facteur 2 du volume de l'ensemble des déchets. Comme expliqué dans le chapitre 5.1 sur les coûts unitaires, ce coût du processus de densification avoisinera le milliard d'euros.
- La seconde étape consiste à la mise en forage profond. Nous nous appuyons pour ce faire sur la thèse de Bates. Le coût de stockage après réduction du volume des déchets MA-VL est considéré comme égal à celui des déchets HA.

A partir de ces hypothèses, le coût de stockage des déchets MA-VL en forage profond est déduit du coût de stockage des déchets HA en forage profond comme suit :

$$C_{MA\text{-}VL} = C_{HA} \times \frac{V_{MA\text{-}VL}}{2 \times V_{HA}}$$

Le coût complet de la technologie prospective (processus de densification et de mise en forage profond) pour l'ensemble des déchets est rapporté dans le tableau ci-dessous :

Tableau Annexe 17.2-4Coût brut de densification et mise en forage profond des déchets MA-VL dans la branche 3.1.a

Coût brut de densification et mise en forage profond des déchets MA-VL dans la branche 3.1.a	
Choix de gestion pour les MA-VL Choix de gestion pour les HA	Technologie prospective
Typologie de coût	Branche 3.1.a
Coût de construction/démantèlement processus de densification	374 M€
Coût de fonctionnement du processus de densification	1 069 M€
Coût de mise en forage profond HA	10 087 M€
Coût de mise en forage profond MA-VL	36 658 M€
Coût annexe au forage profond	2 248 M€
Coût brut total	50 436 M€

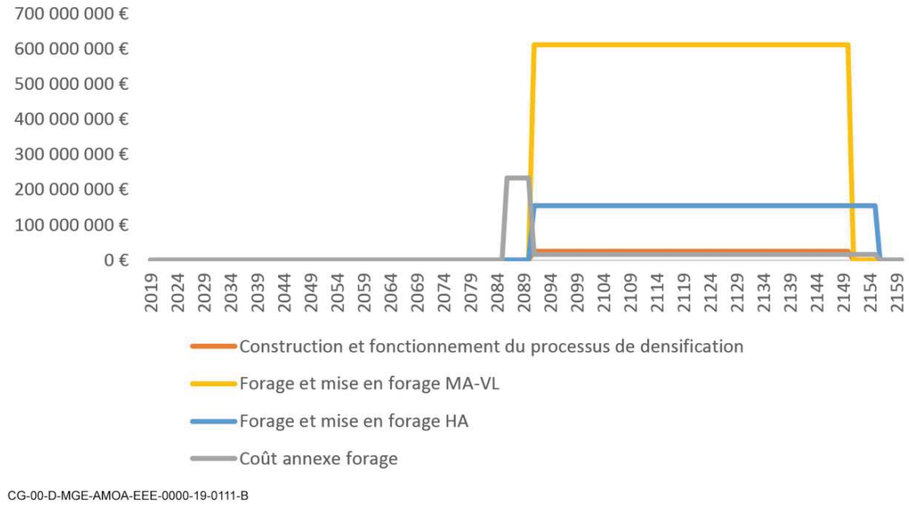


Figure Annexe 17.2-12Coût de la technologie prospective dans la branche 3.1.a de l'option 3 (HA et MA-VL dans la technologie prospective)

Branches 3.1.c et 3.2.a – les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, alors que les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Nous utilisons les mêmes coûts que ceux utilisés pour la branche 2.1.b de l'option 2. La Figure Annexe 17.2-13 représente la chronique des coûts de mise en place de la technologie prospective pour cette branche, puis le Tableau Annexe 17.2-5 présente le coût brut.

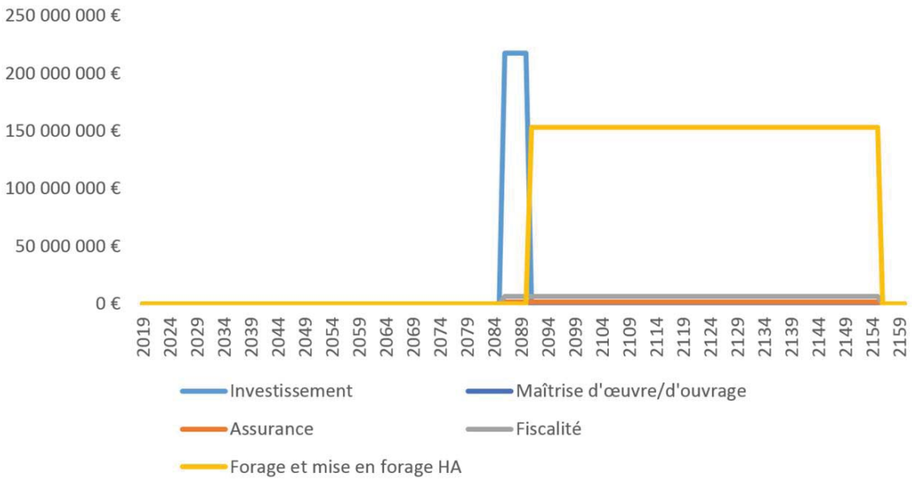


Figure Annexe 17.2-13 Chronique des coûts bruts de mise en place de la technologie prospective pour les branches 3.1.c et 3.2.a (HA uniquement dans le technologie prospective), par type de coûts, en €$_{2019}$

Tableau Annexe 17.2-5 Coût brut de la technologie prospective pour les déchets HA dans les branches 3.1.c et 3.2.a, en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut de la technologie prospective pour les déchets HA dans les branches 3.1.c et 3.2.a	
Choix de gestion pour les MA-VL	Stockage géologique profond
Choix de gestion pour les HA	Technologie prospective
Typologie de coût	Branches 3.1.c et 3.2.a
Forage et mise en forage	9 939 M€
Investissements (installations conventionnelles de surface ; liaisons surface-fond et ouvrages souterrains ; utilités externes et aménagements hors site)	1 086 M€
Maîtrise d'œuvre / d'ouvrage	60 M€
Fiscalité	452 M€
Assurance	100 M€
Coût brut total	11 637 M€

Branche 3.1.b, 3.2.b, 3.3 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Dans ces branches, aucune technologie prospective n'est mise en place.

17.3 Coût actualisé de l'option 3

17.3.1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK

Tableau Annexe 17.3-1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK

Option 3 Scenario OK	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Actualisation haute	14 315 M€	1 642 M€	10 426 M€	18 270 M€	11 649 M€ ; 17 000 M€
Actualisation intermédiaire	18 042 M€	2 090 M€	13 126 M€	23 140 M€	14 648 M€ ; 21 340 M€
Actualisation basse	20 714 M€	2 419 M€	15 085 M€	26 389 M€	16 830 M€ ; 24 609 M€

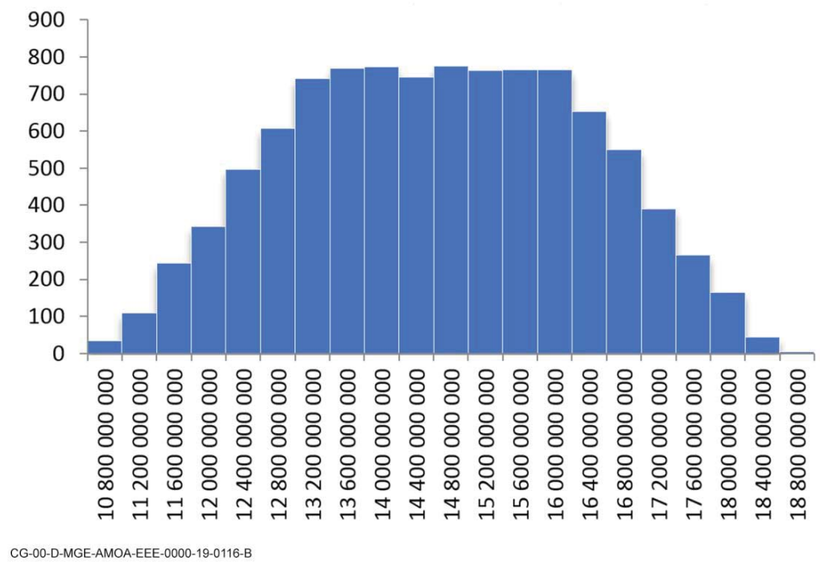


Figure Annexe 17.3-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario OK

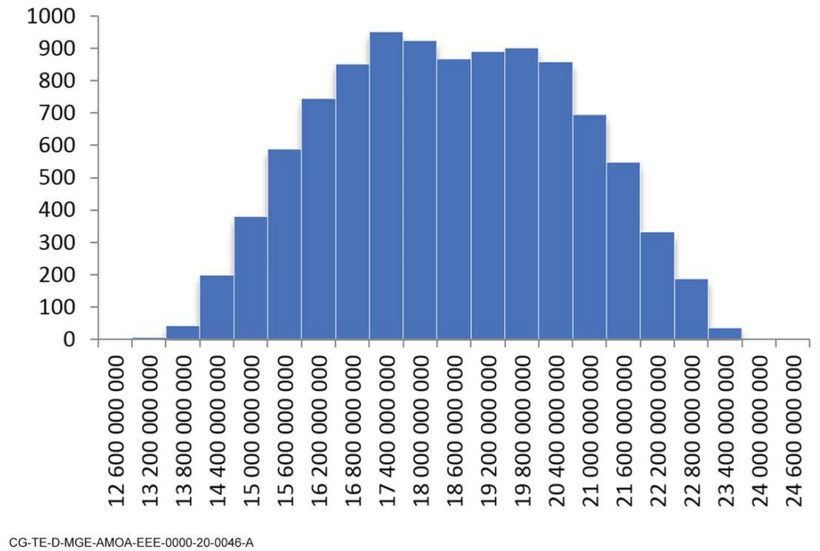


Figure Annexe 17.3-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario OK

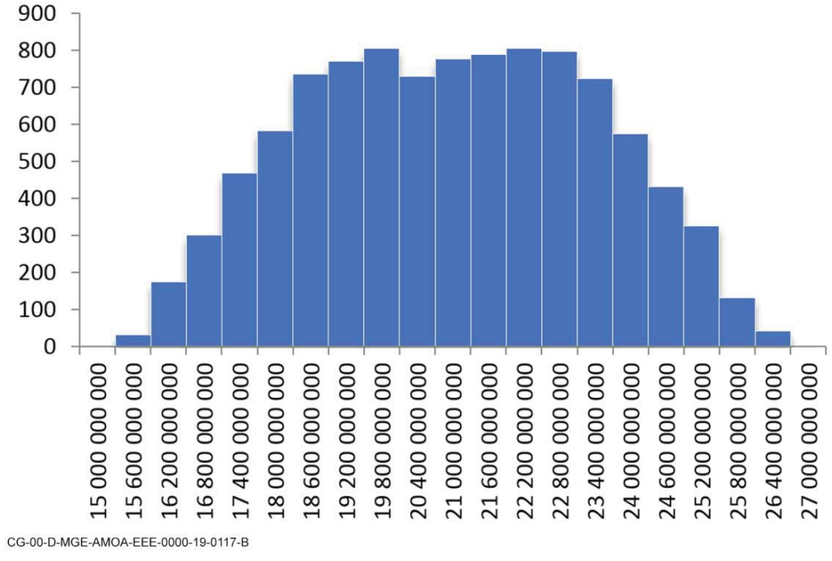


Figure Annexe 17.3-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario OK

17.3.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO

Tableau Annexe 17.3-2Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO

Option 3 Scenario KO	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Actualisation haute	17 194 M€	1 988 M€	12 419 M€	21 908 M€	13 958 M€ ; 20 418 M€
Actualisation intermédiaire	24 271 M€	2 849 M€	17 609 M€	30 924 M€	19 687 M€ ; 28 849 M€
Actualisation basse	32 678 M€	3 955 M€	23 835 M€	42 082 M€	26 446 M€ ; 38 950 M€

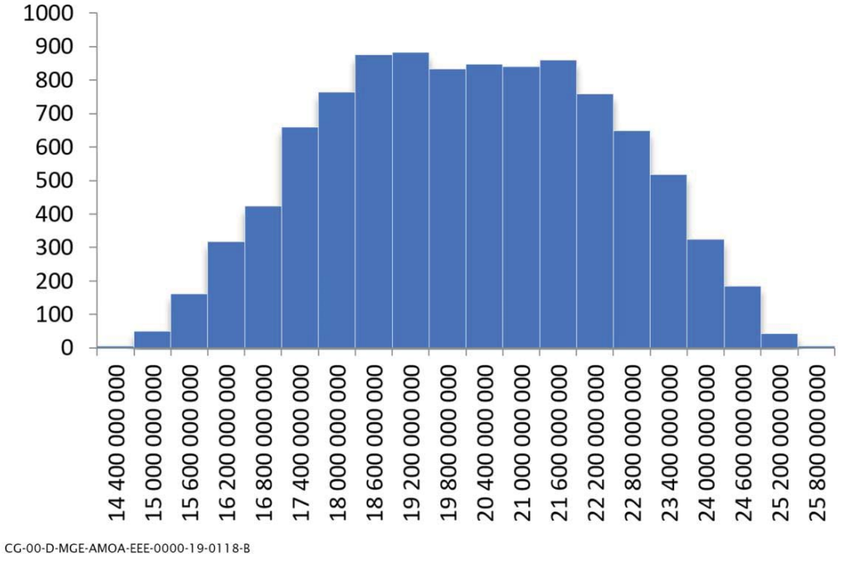


Figure Annexe 17.3-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario KO

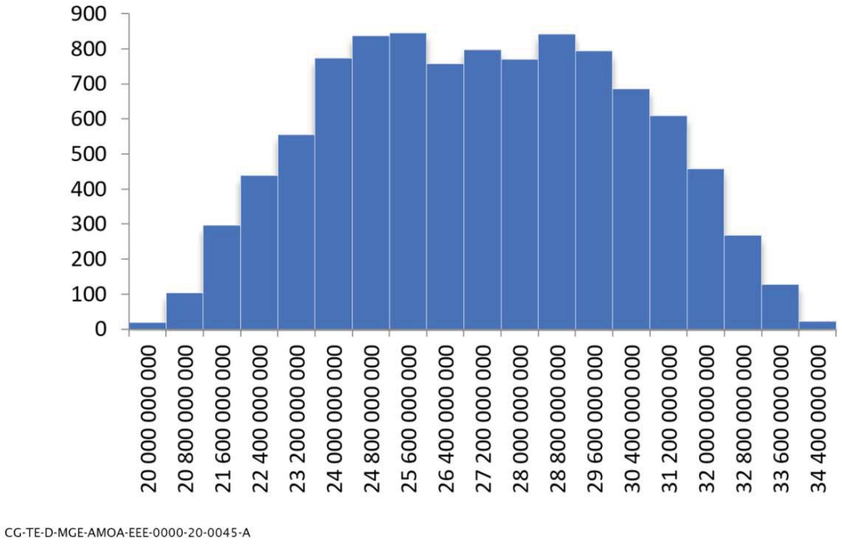


Figure Annexe 17.3-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario KO

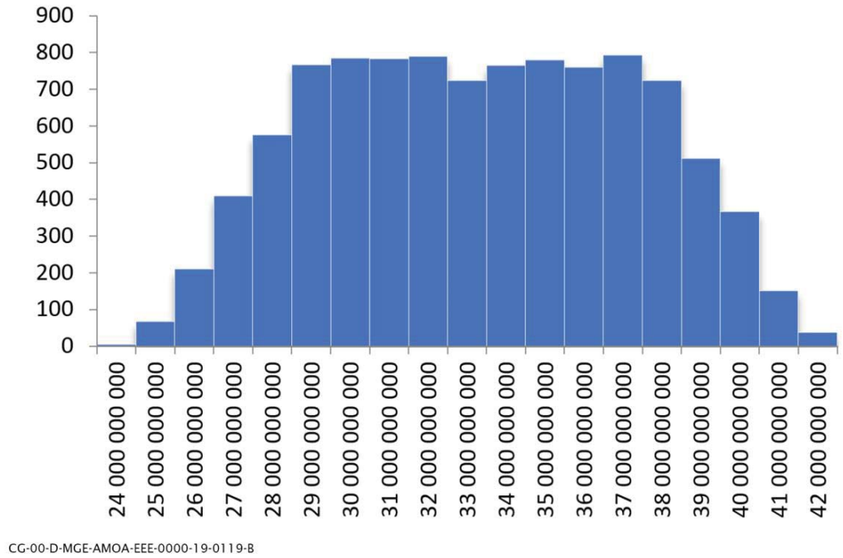


Figure Annexe 17.3-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario KO

Annexe 18 Détail des coûts et représentation graphique de l'option 4

18.1 Hypothèses de l'option 4

Tableau Annexe 18.1-1Solutions de gestion de l'option 4

Branches de l'option 4	Solution de gestion pour les MA-VL	Solution de gestion pour les HA
Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6	Stockage géologique profond	Stockage géologique profond
Branche 4.1.b	Technologie prospective	Stockage géologique profond
Branches 4.1.c et 4.3.b	Stockage géologique profond	Technologie prospective
Branches 4.1.d et 4.2	Technologie prospective	Technologie prospective
Branche 4.4	Stockage géologique profond sur nouveau site	Technologie prospective
Branche 4.5	Entreposage de longue durée renouvelé	Technologie prospective
Branche 4.7	Stockage géologique profond sur nouveau site	Stockage géologique profond sur nouveau site
Branche 4.8	Entreposage de longue durée renouvelé	Entreposage de longue durée renouvelé

Tableau Annexe 18.1-2Hypothèses de l'option 4 - Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[96]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2070-2165	25 518 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2081-2090			
Dont stockage MA-VL	2091-2151			
Dont stockage HA	2091-2155			
Transport	2081-2146	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour stockage MA-VL (dont phase industrielle pilote)	2081-2146	231 M€		
Dont pour stockage HA (dont phase industrielle pilote)	2082-2155	1 241 M€		

[96] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[96]
GIP	2019-2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2069	1 653 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien du site	2019-2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien des compétences	2019-2069	1 224 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2155	3 203 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2155	48 M€		
Dont MA-VL	2030-2145	3 155 M€		

Tableau Annexe 18.1-3Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.1.b

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[97]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2070-2165	16 183 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2082-2090			
Dont stockage HA	2091-2155			
Transport	2081-2155	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour stockage MA-VL	2091-2150	1 241 M€		
Dont pour stockage HA	2082-2155	231 M€		
Technologie prospective	2086-2150	39 798 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont constructions annexes	2086-2090	1 697 M€		
Dont densification MA-VL	2091-2150	1 443 M€		

[97] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[97]
Dont mise en forage MA-VL	2091-2150	36 658 M€		
GIP	2019- 2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019- 2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019- 2088	6 293 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069	1 653 M€		
Dont phase 2	2070-2088	4 641 M€		
Maintien du site	2019- 2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien des compétences	2019- 2069	1 224 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2155	3 804 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080 - 2155	48 M€		
Dont MA-VL	2030 - 2149	3 756 M€		

Tableau Annexe 18.1-4Hypothèses de l'option 4 - Branches 4.1.c et 4.3.b

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[98]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2070-2160	14 909 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2081-2090			
Dont stockage MA-VL	2091-2150			
Transport	2081-2155	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour stockage MA-VL	2081-2146	1 241 M€		
Dont pour stockage HA	2091-2155	231 M€		
Technologie prospective	2086-2155	11 784 M€		H : 1,5 puis 0,3

[98] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[98]
Dont constructions annexes	2086-2090	1 697 M€		I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont mise en forage HA	2091-2155	10 087 M€		
GIP	2019-2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2088	6 293 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069	1 653 M€		
Dont phase 2	2070-2088	4 641 M€		
Maintien du site	2019-2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien des compétences	2019-2069	1 224 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2155	3 203 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2155	48 M€		
Dont MA-VL	2030-2145	3 155 M€		

Tableau Annexe 18.1-5Hypothèses de l'option 4 - Branches 4.1.d et 4.2

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[99]
Transport	2091-2155	1 472 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour stockage MA-VL	2091-2150	231 M€		
Dont pour stockage HA	2091-2155	1 241 M€		
Technologie prospective	2086-2155	50 436 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont constructions annexes	2086-2090	2 248 M€		
Dont mise en forage HA	2091-2155	10 087 M€		

[99] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[99]
Dont processus de densification MA-VL	2091-2150	1 443 M€		
Dont mise en forage MA-VL	2091-2150	36 658 M€		
GIP	2019-2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2088	6 294 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069	1 653 M€		
Dont phase 2	2070-2088	4 641 M€		
Maintien du site	2019-2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien des compétences	2019-2069	1 224 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2155	3 804 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2155	48 M€		
Dont MA-VL	2030-2149	3 756 M€		

Tableau Annexe 18.1-6Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.4

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[100]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2112-2203	14 909 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2123-2132			
Dont stockage MA-VL	2133-2193			
Transport	2023-2188	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour stockage MA-VL	2123-2188	1 241 M€		
Dont pour stockage HA	2091-2155	231 M€		

[100] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[100]
Technologie prospective	2086-2155	11 784 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont constructions annexes	2086-2090	1 697 M€		
Dont mise en forage HA	2091-2155	10 087 M€		
GIP	2019-2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2088	10 283 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069, puis 2070-2099	3 002 M€		
Dont phase 2	2070 à 2088, puis 2100 à 2118	7 280 M€		
Maintien du site	2019-2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien des compétences	2019-2099	1 944 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2155	5 453 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2155	48 M€		
Dont MA-VL	2030-2187	5 406 M€		

Tableau Annexe 18.1-7Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.5

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[101]
Transport (HA uniquement)	2091-2155	231 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Technologie prospective	2086-2155	11 784 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont constructions annexes	2086-2090	1 697 M€		
Dont mise en forage HA	2091-2155	10 087 M€		
GIP	2019-2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2088	7 644 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069, puis 2070-2099	3 002 M€		
Dont phase 2	2100 à 2118	4 641 M€		
Maintien du site	2019-2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien des compétences	2019-2600	13 968 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2155	29 780 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2155	48 M€		
Dont MA-VL	2030-2187	29 732 M€		

[101] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Tableau Annexe 18.1-8Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.7

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité[102]
Conception, construction, fonctionnement et fermeture de Cigéo	2112-2208	25 518 M€	80-150 %	H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont phase industrielle pilote	2123-2132			
Dont stockage MA-VL	2133-2193			
Dont stockage HA	2133-2198			
Transport	2123-2198	1 472 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont pour stockage MA-VL	2123-2188	1 241 M€		
Dont pour stockage HA	2124-2198	231 M€		
GIP	2019-2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
R&D	2019-2069	7 140 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2069	5 641 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069, puis 2070-2099	3 003 M€		
Dont phase 2	2100 à 2118	2 639 M€		
Maintien du site	2019-2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien des compétences	2019-2099	1 944 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2197	5 960 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont HA	2080-2197	554 M€		
Dont MA-VL	2030-2187	5 406 M€		

[102] Pour le scénario OK, Jusqu'en 2070, puis à partir de 2170 ; pour le scénario KO, en 2019 puis à partir de 2100. Voir le chapitre 3.2.3 – *Scenarii* et prix relatifs du rapport pour plus de précisions.

Tableau Annexe 18.1-9Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.8

Type de coût	Année d'apparition des coûts	Coût en M€$_{2019}$	Incertitude	Élasticité
Recherche et développement	2019-2069	7 140 M€	80-150 %	H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Recherche de site	2019-2099	3 003 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Dont phase 1	2019-2069 puis 2070-2099	3 003 M€		
Maintien des compétences	2019-2600	13 968 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Maintien du site	2019-2069	1 652 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
GIP	2019-2069	1 740 M€		H : 1 puis 0,1 I : 0,5 puis 0,05 B : 0
Entreposage	2030-2600	35 452 M€		H : 1,5 puis 0,3 I : 0,8 puis 0,2 B : 0,1
Dont entreposage MA-VL	2030-2600	29 732 M€		
Dont entreposage HA	2080-2600	5 719 M€		

18.2 Coûts unitaires de l'option 4

18.2.1 Coût de R&D

Dans l'ensemble des branches de l'option 4, nous mobilisons comme dans l'option 3, une estimation de 140 millions d'euros par an, soit un total de 7 140 millions d'euros entre 2019 et 2069.

18.2.2 Coût de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne

Dans l'ensemble des branches de l'option 4 et comme expliqué dans le chapitre 5.1.10 décrivant le coût unitaire de maintien du site actuel de Meuse/Haute-Marne, nous mobilisons une estimation de 32,4 millions d'euros par an, soit un total de 1 652 millions d'euros entre 2019 et 2069.

En effet, au-delà de 2070, cette dépense n'a plus lieu d'être, le site actuel de Meuse/Haute-Marne étant :

- soit conservé et utilisé pour le stockage géologique profond (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 – 4.1.b – 4.1.c et 4.3.b) ;
- soit conservé et non utilisé, le mode de gestion étant la technologie prospective (branche 4.1.d) ;
- soit perdu (branches 4.4 - 4.5 – 4.7 – 4.8).

18.2.3 Coût de maintien des compétences

Dans l'ensemble des branches de l'option 4, le coût de maintien des compétences est intégré à compter de 2019. Ce coût intervient sur des périodes différentes selon les caractéristiques des branches concernées, comme détaillé ci-après :

- de 2019 et jusqu'en 2069, dans les branches : 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.b - 4.1.c et 4.3.b - 4.1.d et 4.2 :

  Dans ces branches, une solution durable de gestion des déchets est trouvée en 2070 pour les déchets HA et MA-VL en 2070, que ce soit par stockage géologique profond ou *via* une technologie prospective. Le coût de maintien des compétences s'arrête donc en 2070 et s'élève à 1 224 millions d'euros entre 2019 et 2070.
- de 2019 et jusqu'en 2099, dans les branches 4.4. et 4.7 :

  Dans ces branches, une solution durable de gestion des déchets est trouvée en 2100 pour les déchets HA et pour les déchets MA-VL, que ce soit par stockage géologique profond sur un nouveau site ou *via* une technologie prospective. Le coût de maintien des compétences s'arrête donc en 2100 et s'élève à 1 944 millions d'euros entre 2019 et 2099.
- de 2019 et jusqu'en 2600, dans les branches : 4.5 et 4.8 :

  Dans ces branches, une solution durable de gestion des déchets n'est pas trouvée pour les déchets MA-VL et/ou pour les déchets HA, et le recours à de l'entreposage de longue durée renouvelé se poursuit. Le maintien des compétences dure donc également sur toute cette période allant de 2019 à 2600, période de la fin d'actualisation, pour un coût de total de 13 968 millions d'euros.

18.2.4 Coût de recherche de site

Plusieurs cas de figure de recherche d'un nouveau site peuvent être envisagés : la recherche d'un nouveau site peut avoir pour objectif la mise en place d'une technologie prospective, ou, la mise en place de Cigéo sur un nouveau site.

Par ailleurs, comme expliqué au sein du chapitre 5.1.3 décrivant le coût unitaire de recherche de site, cette recherche de site est divisée en deux phases ; la seconde phase de caractérisation du site au regard de la technologie employée n'étant enclenchée uniquement si la première phase est réussie, à savoir qu'un site est identifié.

Le coût unitaire de recherche de site intervient dans les branches suivantes :

Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Dans ces branches, la première phase de recherche de site pour une technologie prospective de forage profond est enclenchée en 2019 ; en 2070, aucune technologie prospective et/ou aucun site n'étant trouvé, la seconde phase n'est pas enclenchée.

Branches 4.1.b, 4.1.c et 4.3.b : les déchets HA ou MA-VL sont gérés soit par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, soit par une technologie prospective

<u>Et</u> branches 4.1.d. et 4.2 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective

Dans ces branches, la première phase est enclenchée en 2019 ; en 2070, une technologie prospective et/ou un nouveau site ayant été identifié, la seconde phase de recherche de site pour une technologie prospective est également enclenchée.

Branche 4.4 - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Cette branche présente la particularité de cumuler quatre phases de recherche de site :

- une première phase de recherche de site pour une technologie prospective entre 2019 et 2069 ; une technologie et un site sont trouvés pour les HA ;
- une seconde phase de recherche de site pour une technologie prospective pour les HA à partir de 2070 ;
- une première phase de recherche site pour un nouveau site de stockage géologique profond pour les MA-VL uniquement entre 2070 et 2099, recherche qui aboutit sur l'identification d'un site ;
- une seconde phase de recherche de site pour un nouveau site de stockage géologique profond pour les MA-VL à partir de 2100.

Branche 4.5 - les déchets MA-VL sont gérés par entreposage de longue durée renouvelé et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Cette branche présente la particularité de cumuler trois phases de recherche de site :

- une première phase de recherche de site pour une technologie prospective entre 2019 et 2069 ; une technologie et un site sont trouvés pour les HA ;
- une seconde phase de recherche de site pour une technologie prospective pour les HA à partir de 2070 ;
- une première phase de recherche site pour un nouveau site de stockage géologique profond pour les MA-VL uniquement entre 2070 et 2099. Cette recherche n'aboutissant pas, la seconde phase n'est pas enclenchée.

Branche 4.7 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site

Comme pour l'ensemble des branches de l'option 4, la première phase de recherche de site pour une technologie prospective est lancée en 2019. En 2070, la technologie prospective n'aboutit pas ; la première phase de recherche d'un nouveau site de stockage géologique profond est alors lancée. Celle-ci aboutit à l'identification d'un nouveau site en 2100 ; la seconde phase de recherche d'un site pour nouveau site de stockage géologique profond est donc lancée.

Branche 4.8 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par entreposage de longue durée renouvelé

Comme pour l'ensemble des branches de l'option 4, la première phase de recherche de site pour une technologie prospective est lancée en 2019. En 2070, la technologie prospective n'aboutit pas ; la première phase de recherche d'un nouveau site de stockage géologique profond est alors lancée. Celle-ci n'aboutit pas à l'identification d'un nouveau site en 2100 ; la seconde phase n'est donc pas enclenchée.

Le Tableau Annexe 18.2-1 ci-dessous récapitule les coûts de recherche de site par branche :

Tableau Annexe 18.2-1Coût brut de recherche de site dans l'option 4

Coût brut de recherche de site dans l'option 4					
Solution de gestion	**Technologie prospective**	**Technologie prospective**	**Stockage géologique profond sur un nouveau site**	**Stockage géologique profond sur un nouveau site**	**Coût brut total**
Phase de recherche de site	**Phase 1**	**Phase 2**	**Phase 1**	**Phase 2**	
Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6	1 653 M€				**1 653 M€**
Branches 4.1.b - 4.1.c et 4.3.b - 4.1.d et 4.2	1 653 M€	4 641 M€			**6 294 M€**
Branche 4.4	1 653 M€	4 641 M€	1 350 M€	2 639 M€	**10 283 M€**
Branche 4.5	1 653 M€	4 641 M€	1 350 M€		**7 644 M€**
Branche 4.7	1 653 M€		1 350 M€	2 639 M€	**5 642 M€**
Branche 4.8	1 653 M€		1 350 M€		**3 003 M€**

18.2.5 Coût de mise en place de Cigéo

Ce chapitre concerne le coût unitaire de mise en place de Cigéo pour une gestion des déchets radioactifs par stockage géologique profond, soit sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne parce que le site est conservé et qu'il n'y a pas d'autre technologie prospective disponible (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 – 4.1.b – 4.1.c et 4.3.b), soit sur un nouveau site en cas de perte du site actuel de Meuse/Haute-Marne et de recherche fructueuse d'un nouveau site (branches 4.4 – 4.7).

Notons que, par hypothèse, le coût de mise en place de Cigéo n'intervient pas dans les branches 4.1.d et 4.2 (les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective), dans la branche 4.5 (les déchets MA-VL sont gérés par de l'entreposage de longue durée renouvelé et les déchets HA par une technologie prospective) et dans la branche 4.8 (les déchets radioactifs HA et MA-VL sont gérés par de l'entreposage de longue durée renouvelé).

Ainsi, le stockage géologique profond peut être déployé pour l'ensemble des déchets radioactifs ou seulement pour les HA ou pour les MA-VL, en fonction des résultats de la R&D relative à une technologie prospective. Différents cas se présentent et sont détaillés ci-après :

Coût de mise en place de Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne pour les déchets HA et les MA-VL, à partir de 2070 :

Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo à partir de 2070

Dans ces branches, le coût de mise en place de Cigéo est construit par période :

- de 2070 à 2090 (en décalé, la date de 2090 correspond à la date de 2040 en option de projet 1, soit la fin de la phase industrielle pilote) :
  - ✓ concernant les **coûts d'investissement**, les montants identiques à ceux intervenant entre 2019 et 2040 dans l'option de projet 1 sont repris, auquel il convient d'ajouter la construction du bâtiment EP2 dédié aux HA. En effet, celui-ci est construit dans ces branches entre 2070 à 2090 (soit plus rapidement qu'en option de projet 1, au sein de laquelle la construction ne démarre qu'en 2069), afin de permettre un démarrage plus rapide du stockage des déchets HA. Ceux-ci ayant suffisamment refroidi, leur stockage peut en effet commencer relativement plus rapidement qu'en option de projet 1 (18 ans et non 68 ans après le début des travaux) ;
  - ✓ s'agissant des **autres coûts**, les montants identiques à ceux intervenant entre 2019 et 2040 dans l'option de projet 1 sont repris
- de 2091 à 2155 :
  - ✓ concernant les coûts d'investissement, nous supposons des coûts identiques aux coûts d'investissement (hors démantèlement) de l'option de projet 1. Ceux-ci sont toutefois condensés sur 30 ans de moins, en raison du chevauchement des périodes de stockage des déchets MA-VL et HA : de 2040 à 2145 (soit 105 ans) en option de projet 1 et de 2081 à 2156 (soit 75 ans) en option 4 ;
  - ✓ s'agissant des autres coûts, nous condensons les coûts de maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage et assistance à maîtrise d'ouvrage de la période 2040-2145 de l'option de projet 1 sur la période 2091-2156. L'estimation du coût de l'assurance travaux est faite en utilisant le même coût annuel que dans l'option de projet 1. Les coûts annuels liés à la fiscalité sont estimés en utilisant la moyenne annuelle de la période de l'option de projet 1 pendant laquelle les déchets HA et MA-VL sont stockés de façon concomitante (entre 2080 et 2100) ; Enfin, les coûts liés aux activités sous maîtrise d'ouvrage Andra sont repris de l'option de projet 1 in extenso, mais appliqués à partir de 2070 ;
- de 2156 à 2165 : les coûts de démantèlement sont décalés à la période 2155 à 2165 ; ceux dépassant 2165 sont condensés sur les dix ans de fermeture (2156 à 2165) afin de maintenir le même coût brut, se terminant en 2165 ;

Sur l'ensemble de la période 2019-2166, le coût brut total de mise en place de Cigéo dans cette configuration s'établit à 25 518 millions d'euros ; pour rappel, le coût de mise en place de Cigéo dans l'option de projet 1 est de 25 811 millions d'euros. L'économie très marginale observée résulte de légères réductions de coûts sur les postes de jouvence (inclus dans l'investissement) et de fiscalité dues à la réduction de la durée de fonctionnement. Les coûts d'exploitation et les coûts des activités sous maîtrise d'ouvrage Andra restent eux inchangés.

Coût de mise en place de Cigéo sur un nouveau site pour les déchets HA et les MA-VL, à partir de 2100 :

Branche 4.7 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site à partir de 2100

Dans cette branche, un nouveau site de stockage profond est trouvé et accepté en 2100 pour gérer les déchets radioactifs. Nous posons l'hypothèse d'une douzaine d'années de recherche sur site (en référence aux douze ans écoulés entre 2007 et 2019 pour le site actuel de Cigéo en Meuse/Haute-Marne)[103] ; s'en suivent 20 ans de construction initiale et de phase industrielle pilote. La mise en stockage démarre en 2112, pour 65 ans avant la décision de démantèlement.

Ainsi, toute la chronique de coûts d'investissement et des autres coûts décrite précédemment pour les branches 4.1.a, 4.3.a, 4.6 est reprise et décalée de 42 ans.

Le coût brut total attaché à la mise en place de Cigéo estimé pour la branche 4.7 de l'option 4 s'élève à 25 518 millions d'euros.

[103] Cette phase de recherche sur site englobe une partie de la phase 2 de recherche de site pour Cigéo, qui quant à elle dure 19 ans, cette hypothèse est issue de la période comprise entre 2007 et 2025 (date estimée du décret d'autorisation de création).

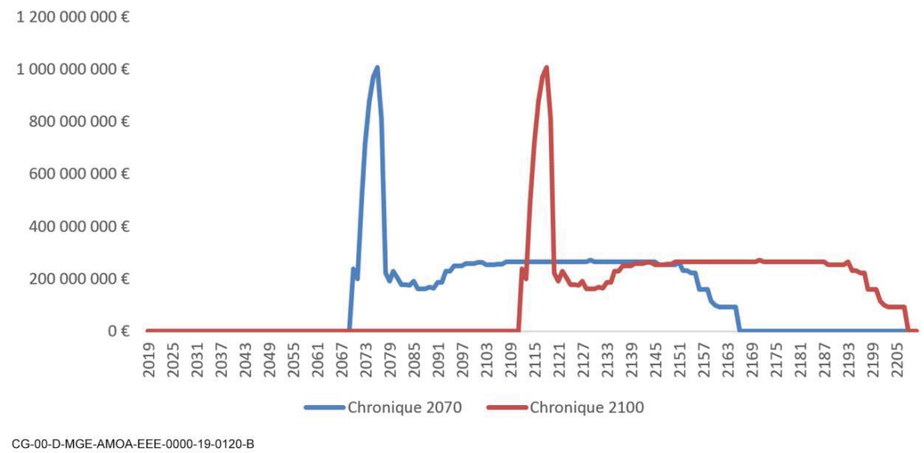


Figure Annexe 18.2-1 Comparaison des chroniques des coûts de mise en place de Cigéo en 2070 dans les branches 4.1.a, 4.3.a, 4.6 et en 2100 dans la branche 4.7 de l'option 4

Coût de mise en place de Cigéo sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne pour les déchets MA-VL uniquement, à partir de 2070 et 2100 :

Branches 4.1.c et 4.3.b - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo à partir de 2070, et branche 4.4 - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site en 2100 : les déchets HA étant gérés par une technologie prospective dans toutes ces branches

Le début de l'ensemble des lignes de coûts de la branche 2.1.b de l'option 2 (Cigéo uniquement pour les MA-VL) est décalé de 2019 à 2070. Une catégorie d'investissement (le process HA), intervenant avant 2070 au sein de l'option de projet 1, est supprimée. Cela réduit le coût brut très marginalement en supprimant des coûts d'investissement.

Pour le coût de la mise en place de Cigéo uniquement pour les déchets MA-VL à partir de 2100, le coût brut est identique, mais décalé à 2112 (prise de décision en 2100 + 12 ans de recherches sur site, voir le chapitre sur la branche 4.7 ci-dessus).

Le coût brut total attaché à la mise en place de Cigéo estimé pour les branches 4.1.c, 4.3.b et 4.4 de l'option 4 s'élève à 14 909 millions d'euros.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

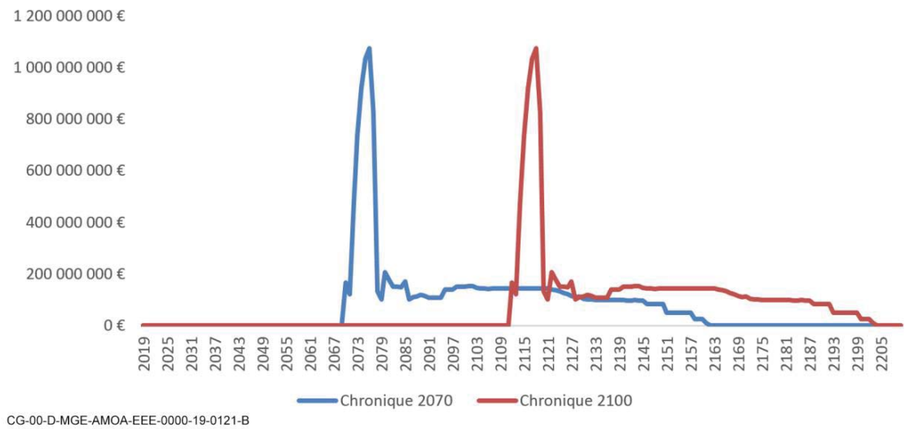


Figure Annexe 18.2-2 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo pour les branches 4.1.c, 4.3.b et 4.4

Coût de mise en place de Cigéo pour les déchets HA uniquement, à partir de 2070 :

Branche 4.1.b - les déchets MA-VL sont gérés par une technologie prospective, les déchets HA sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, à partir de 2070

- Le début de l'ensemble des lignes de coûts de l'option de projet 1 est décalé de 2019 à 2070. Les changements suivants y sont ensuite apportés :
- Concernant les coûts d'investissement, le coût du process MA-VL, de EP1, du bloc 3 de EP1 sont ramenés à zéro. Par ailleurs, l'échéancier est modifié de la manière suivante :
  - ✓ Pour les coûts relatifs au process nucléaire :
    - Les coûts entre 2070 et 2091 (correspondant à la période 2019-2040 en option de projet 1) sont conservés à l'identique.
    - Les coûts survenant à partir de 2079 en option de projet 1 (soit un an avant le fonctionnement en option de projet 1) sont placés en option 4 à partir de 2090 (soit un an avant le fonctionnement en option 4).
  - ✓ Pour les coûts relatifs aux bâtiments nucléaires de surface :
    - Les coûts entre 2070 et 2091 (correspondant à la période 2019-2040 en option de projet 1) sont conservés à l'identique.
    - Les coûts survenant à partir de 2079 en option de projet 1 (soit un an avant le fonctionnement en option de projet 1) sont placés en option 4 à partir de 2090 (soit un an avant le fonctionnement en option 4).
  - ✓ Pour les coûts relatifs aux installations conventionnelles de surface ; aux liaisons surface-fond et ouvrages souterrains ; aux installations transverses :
    - Les coûts de construction et de renouvellement sont concentrés sur la période 2091 à 2155 (fonctionnement).
    - Pour la zone de stockage HA :

      Les coûts entre 2070 et 2091 (correspondant à la période 2019-2040 en option de projet 1) sont conservés à l'identique.

      Les coûts survenant à partir de 2079 en option de projet 1 (soit un an avant le fonctionnement en option de projet 1) sont placés en option 4 à partir de 2090 (soit un an avant le fonctionnement en option 4).

- ✓ Pour les coûts de maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage, nous reprenons les ratios développés pour la définition du coût de Cigéo en options 2 et 3 : 2,4 % du montant d'investissement pour la maîtrise d'œuvre de conception, 10 % pour la maîtrise d'œuvre de réalisation, 2,4 % pour l'assistance à maîtrise d'ouvrage règlementaire et 3 % pour l'assistance à maîtrise d'ouvrage de suivi de travaux
- ✓ Pour les coûts d'assurances, nous supposons un montant annuel identique à l'option de projet 1 jusqu'à la fermeture ;
- ✓ Pour les impôts et les taxes :
  - Les impôts et taxes pour les déchets HA uniquement sont supposés égaux à la différence entre le coût des impôts et des taxes uniquement pour les déchets MA-VL (voir chapitre 16.2.1 pour précisions de calcul) et le coût total des impôts et des taxes, soit 1 687 millions d'euros.
  - Nous supposons que la taxe sur les installations nucléaires de base (INB), la taxe dite « de stockage », la contribution IRSN et la cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises (CVAE) sont lissés sur la période [20 ans avant le début du fonctionnement - fin du fonctionnement], comme en option de projet 1 ; les taxes foncières, la cotisation foncière des entreprises (CFE) et le dégrèvement relatif à la contribution économique territoriale sont lissées sur la période [10 ans avant le début de fonctionnement - fin de fonctionnement], également comme en option de projet 1.
- ✓ Pour le coût de fonctionnement :

  Le coût de fonctionnement pour les déchets HA uniquement est supposé égal à la différence entre le coût de fonctionnement uniquement pour les déchets MA-VL (voir rapport pour précisions de calcul) et le coût total de fonctionnement.
- ✓ Pas de modification des coûts des activités connexes sous maîtrise d'ouvrage Andra.

Le coût brut total attaché à la mise en place de Cigéo estimé pour la branche 4.1.b de l'option 4 s'élève à 16 183 millions d'euros.

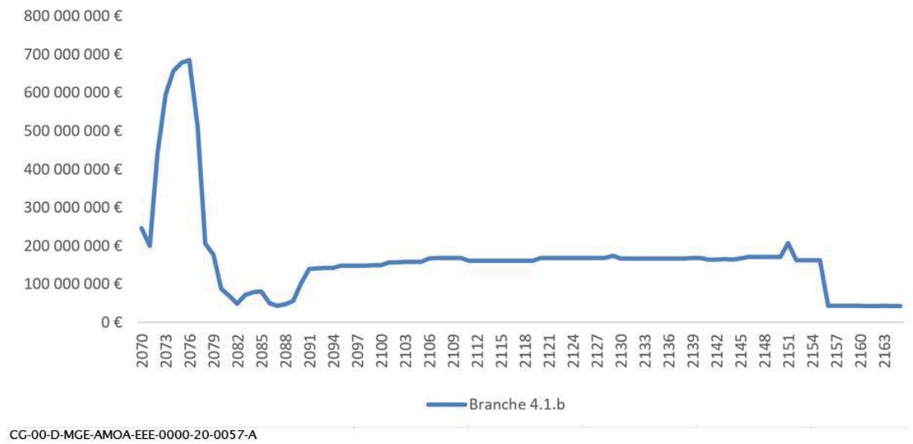


Figure Annexe 18.2-3 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo pour la branche 4.1.b

18.2.6 Coût de technologie prospective

Coût d'une technologie prospective pour les déchets HA et MA-VL à partir de 2070 :

Branches 4.1.d et 4.2 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective

Ces branches sont identiques à la branche 3.1.a de l'option 3 pour les déchets HA et MA-VL, en coût brut et en chronique.

On note ainsi un coût brut d'une technologie prospective de 50 436 millions d'euros.

Coût d'une technologie prospective pour les HA uniquement :

Branches 4.1.c et 4.3.b - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.4 - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.5 - les déchets MA-VL sont gérés par entreposage de longue durée renouvelé et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Dans cette branche, l'ensemble des déchets HA (HA1/HA2 et HA0) sont gérés par la technologie prospective. On note donc un coût légèrement supérieur aux branches 2.1.b, 3.1.c et 3.2.a (dans ces branches, seuls les déchets HA, hors HA0, sont gérés par la technologie prospective).

On note ainsi un coût brut d'une technologie prospective de 11 784 millions d'euros.

Typologie de coût	Coût brut d'une technologie prospective pour les déchets HA et HA0 uniquement
Coût de mise en forage profond HA	10 087 M€
Coût annexe au forage profond	1 697 M€
Coût brut total	**11 784 M€**

Coût d'une technologie prospective pour les déchets MA-VL uniquement :

Branche 4.1.b - les déchets MA-VL sont gérés par une technologie prospective, les déchets HA sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

En prenant en compte uniquement les coûts du processus de densification et de mise en forage profond relevant des déchets MA-VL, et des coûts annexes (investissement, assurances travaux – maîtrise d'œuvre et d'ouvrage, fiscalité identiques à la mise en forage profond des déchets HA), nous obtenons un coût de 39 832 millions d'euros pour la mise en place de la technologie prospective pour les MA-VL dans la branche 4.1.b de l'option 4.

Les différentes composantes sont listées dans le tableau ci-dessous. On note que, si les coûts de mise en forage profond et les coûts liés à la densification pour les déchets MA-VL sont identiques aux coûts estimés pour ces mêmes catégories de déchets en option 3.1.a, les coûts annexes, eux, sont plus faibles. Ils correspondent aux mêmes coûts annexes que ceux estimés dans le cas où seuls les déchets HA sont stockés en forage profond (branches 2.1.a, 3.1.b et 3.2.a).

Tableau Annexe 18.2-2Coût brut d'une technologie prospective pour les déchets MA-VL uniquement

Typologie de coût	Coût brut d'une technologie prospective pour les déchets MA-VL uniquement
Coût du processus de densification	1 443 M€
Coût de mise en forage profond MA-VL	36 658 M€
Coût annexe au forage profond	1 697 M€
Coût brut total	**39 798 M€**

18.2.7 Coût de transport

Coût de transport des déchets HA vers Cigéo à partir de 2090 :

Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Branche 4.1.b - les déchets MA-VL sont gérés par une technologie prospective, les déchets HA sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Dans ces branches, la phase de fonctionnement de Cigéo pour les déchets HA est décalée de 10 ans par rapport à l'option de projet 1. Le transport en phase industrielle pilote est décalé aux années 2082 à 2086 ; le transport en phase industrielle entre 2091 et 2155.

Coût de transport des déchets MA-VL vers Cigéo à partir de 2081 ou 2123 :

Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Branches 4.1.c et 4.3.b - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.4 - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.7 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site

Dans ces branches, les opérations de premier stockage dans Cigéo pour les déchets MA-VL et HA0 sont décalées par rapport à l'option de projet 1 d'une cinquantaine d'années (dans les branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.c et 4.3.b) et de près de 100 ans (dans les branches 4.4 et 4.7). Elles commencent ainsi respectivement en 2081 ou en 2123[104], contre 2030 pour Cigéo. La chronique est ensuite identique à celle de Cigéo, ainsi que le coût brut.

[104] La date de 2123 part d'une décision en 2100, à laquelle s'ajoute une période de 12 ans de recherche sur site, puis de 11 ans avant le lancement de la phase industrielle pilote.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
Annexes

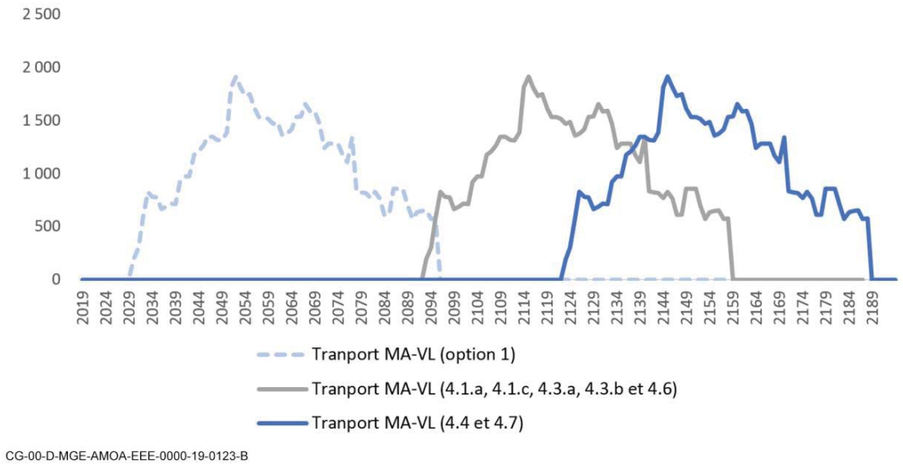


Figure Annexe 18.2-4 Comparaison des chroniques de transport des déchets MA-VL dans les branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.c et 4.3.b – 4.4 et 4.7, et dans l'option de projet 1, en m³

Coût de transport des déchets HA vers Cigéo à partir de 2124 :

Branche 4.7 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site

Dans cette branche, les déchets HA (HA1/HA2) et HA0 sont stockés sur un nouveau site de stockage géologique profond à partir de 2124, au lieu de 2031 dans l'option de projet 1. Cela correspond à un décalage de la décision de lancer Cigéo à 2100, suivie de 12 ans de recherche sur site et 11 ans de construction initiale avec le lancement de la phase industrielle pilote.

Coût de transport des déchets HA à partir de 2091 vers une technologie prospective :

Branches 4.1.c et 4.3.b - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branches 4.1.d, et 4.2 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.4 - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Dans ces branches, les déchets HA sont stockés avec un décalage d'une dizaine d'années par rapport à l'option de projet 1. Par ailleurs, sans plus d'informations sur la chronique potentielle de transport et de réception des colis pour ce type de technologie prospective, la chronique de transport des déchets HA, est légèrement modifiée, selon une hypothèse de répartition annuelle constante sur la durée totale de 65 ans (hypothèse également posée pour l'ensemble des autres branches menant à une technologie prospective pour les déchets HA).

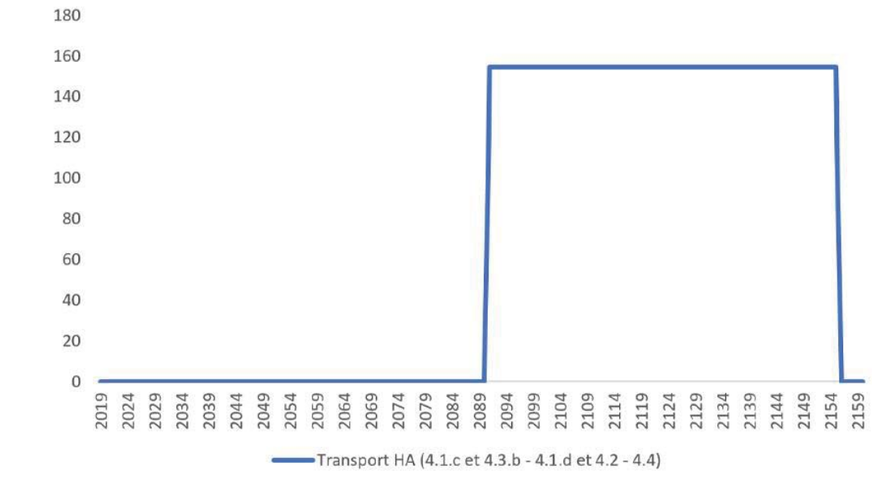


Figure Annexe 18.2-5 Chronique de transport des déchets HA des branches 4.1.c et 4.3.b - 4.1.d et 4.2 - 4.4, en m³

Coût de transport des déchets MA-VL vers une technologie prospective à partir de 2091 :

Branche 4.1.b - les déchets MA-VL sont gérés par une technologie prospective, les déchets HA sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Branches 4.1.d, et 4.2 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective

Dans ces branches, les déchets MA-VL sont évacués des sites d'entreposage à partir de 2091, versus 2030 pour l'option de projet 1. On note ainsi un décalage d'une soixantaine d'années ; la chronique est également modifiée (comme pour les déchets HA, nous supposons un envoi en volume constant, sur une durée totale demeurée inchangée de 60 ans).

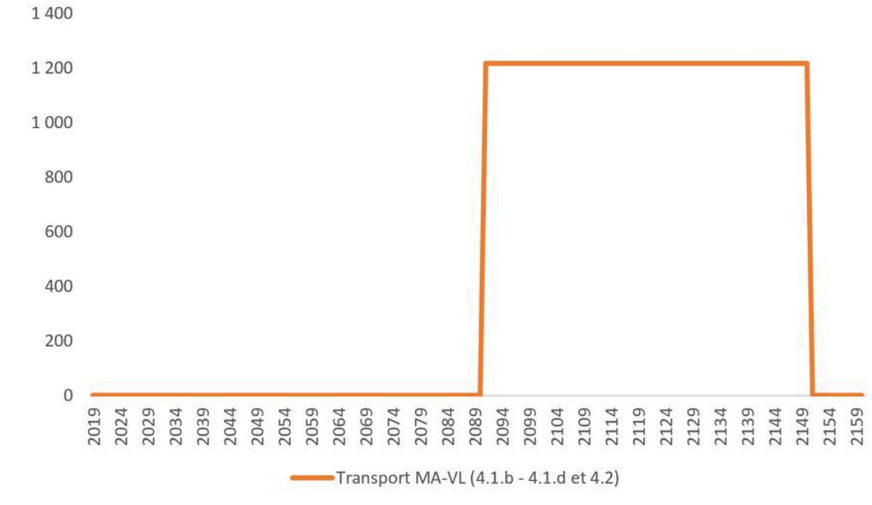


Figure Annexe 18.2-6 Chronique de transport des déchets MA-VL des branches 4.1.b - 4.1.d et 4.2, en m3

Tableau Annexe 18.2-3Coût brut de transport dans l'option 4

Branche de l'option 4	Coût brut de transport
Branches 4.1.a, 4.3.a, et 4.6 **Branche 4.1.b** **Branches 4.1.c et 4.3.b** **Branches 4.1.d et 4.2** **Branche 4.4** **Branche 4.7**	1 473 M€ dont : 1 241 M € (MA-VL) 231 M€ (HA)
Branche 4.5	231 M€
Branche 4.8	-

18.2.8 Coût d'entreposage

Dans ce chapitre, nous estimons les coûts d'entreposage des déchets HA et MA-VL. Ceux-ci diffèrent de l'option de projet 1 en raison de la mise en place plus tardive (quand c'est le cas) de la solution de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs (soit par stockage géologique profond soit par recours à une technologie prospective). Ces décalages génèrent des surcoûts d'entreposage, à la fois en matière

de fonctionnement et d'investissement des installations temporaires d'entreposage, qui restent nécessaires plus longtemps.

Coût d'entreposage en vue du stockage géologique profond des déchets HA à partir de 2091 :

Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Branche 4.1.b - les déchets MA-VL sont gérés par une technologie prospective, les déchets HA sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Dans ces branches, la mise en place du stockage géologique profond sur le site actuel de Meuse/Haute-Marne est décalée de 2019 à 2070 ; le stockage des premiers déchets radioactifs de la phase industrielle pilote est donc décalé de 2031 à 2082. La phase industrielle de leur stockage est décalée de 2080 à 2091.

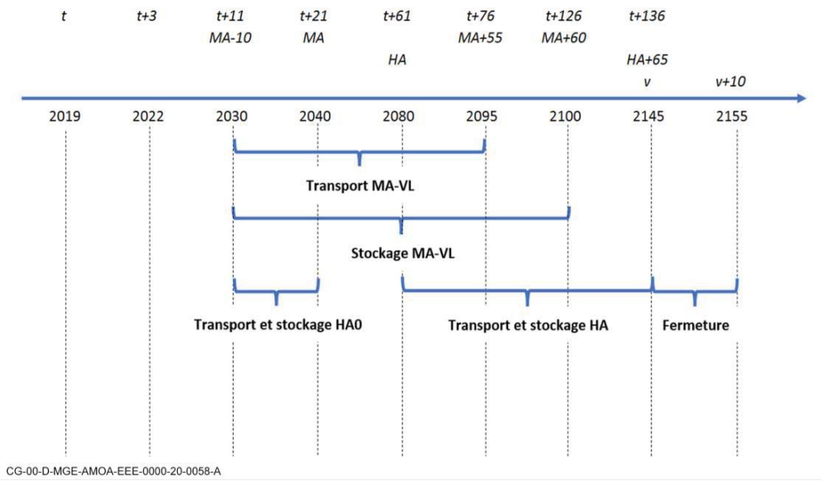


Figure Annexe 18.2-7 Calendrier de la mise en place de Cigéo dans l'option de projet 1

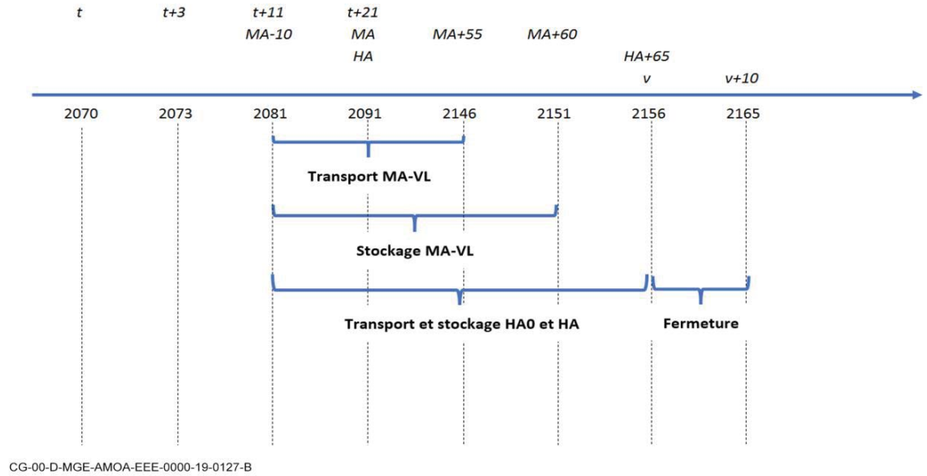


Figure Annexe 18.2-8 Calendrier de la mise en place de Cigéo pour les branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.b

On note donc que les déchets HA, dans leur immense majorité, sont ensuite stockés en couche géologique profonde à partir de 2091, et non 2080, comme en option de projet 1, soit un décalage de 11 ans. Le surcoût d'entreposage sur cette période est donc identique à celui estimé dans les branches 3.1.a et 3.1.b de l'option 3. On note que le surcoût d'entreposage pour les déchets HA0 (phase industrielle pilote) n'a pas été pris en considération ; par simplification, et au vu du poids de ces déchets dans l'inventaire HA complet (environ 1 %).

Tableau Annexe 18.2-4 Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par stockage géologique profond (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.b), en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par stockage géologique profond	
Solution de gestion pour les déchets HA	**Stockage géologique profond**
Typologie de coût des déchets HA	**Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.b**
Surcoût d'investissement	-
Surcoût de fonctionnement	48 M€
Coût brut total	**48 M€**

Coût d'entreposage en vue du stockage géologique profond des déchets MA-VL à partir de 2081 :

Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Branches 4.1.c et 4.3.b - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Dans ces branches, les premiers déchets MA-VL (et HA0) sont stockés à partir de 2081, et non 2030, soit un décalage d'environ 50 ans. On note qu'un décalage de 50 ans a été étudié au sein de la branche 3.1.a de l'option 3.

La branche 3.1.a diverge toutefois légèrement des branches considérées ici, dans la mesure où aucun surcoût d'entreposage des premiers déchets de la phase industrielle pilote n'est nécessaire dans l'option 3. En effet, la phase industrielle pilote est effectuée au même moment dans l'option de projet 1 et dans l'option 3 : par conséquent, les producteurs désentreposent au même moment ces premiers déchets destinés au stockage lors de la phase industrielle pilote, et ne subissent donc pas de surcoût lié à leur entreposage.

Ceci n'est pas le cas des branches de l'option 4 considérées ici, où la phase industrielle pilote intervient avec un décalage de 50 ans, nécessitant pour les producteurs de prolonger l'entreposage de ces déchets d'une durée équivalente. Toutefois, les premiers déchets de la phase industrielle pilote représentent une partie infime des déchets prévus dans l'inventaire de référence (environ 5 %, selon le PIGD version E). Nous posons donc l'hypothèse simplificatrice et conservatrice que le surcoût d'entreposage sera identique à celui estimé en option 3.

Les surcoûts d'entreposage sont estimés comme suit :

Tableau Annexe 18.2-5Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par stockage géologique profond (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.c et 4.3.b), en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par stockage géologique profond	
Solution de gestion pour les déchets MA-VL	**Stockage géologique profond**
Typologie de coût	**Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.c et 4.3.b**
Surcoût d'investissement	1 406 M€
Surcoût de fonctionnement	1 749 M€
Coût brut total	**3 155 M€**

Coût d'entreposage en vue du stockage géologique profond des déchets HA dans un nouveau site à partir de 2130 :

Branche 4.7 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site

Dans cette branche, les déchets HA sont stockés en couche géologique profonde dans un nouveau site à partir de 2124 (phase industrielle pilote), et la phase industrielle de stockage démarre en 2133. En option de projet 1, le stockage des déchets en phase industrielle commence en 2080 ; on note ainsi une cinquantaine d'années de décalage.

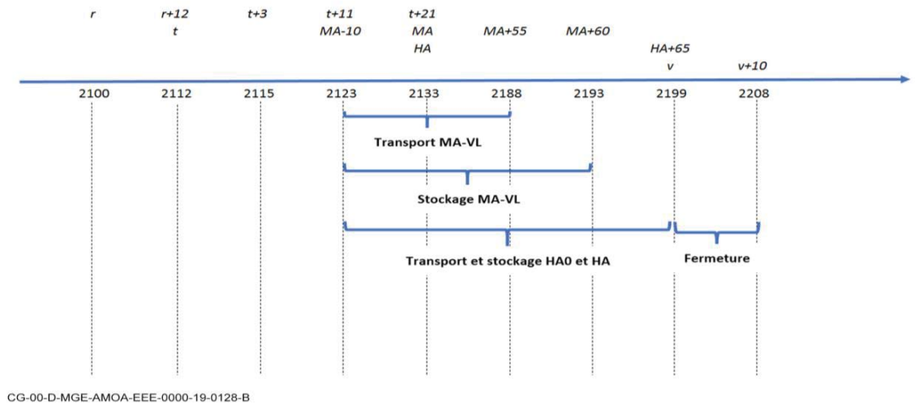


Figure Annexe 18.2-9 Calendrier de la mise en place de Cigéo pour la branche 4.7

Les surcoûts d'entreposage sont estimés comme suit :

Tableau Annexe 18.2-6Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par stockage géologique profond sur nouveau site (dans la branche 4.7), en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par stockage géologique profond sur nouveau site	
Solution de gestion pour les déchets HA	**Stockage géologique profond sur nouveau site**
	Branche 4.7
Surcoût d'investissement	238 M€
Surcoût de fonctionnement	316 M€
Coût brut total	**554 M€**

Coût d'entreposage en vue du stockage géologique profond des déchets MA-VL sur un nouveau site à partir de 2123 :

Branche 4.4 - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.7 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site

Les déchets MA-VL sont stockés dans une couche géologique profonde sur un nouveau site à partir de 2133, et non 2040, soit un décalage et un allongement de la durée d'entreposage d'environ 90 ans par rapport à l'option de projet 1.

Les surcoûts d'entreposage sont estimés comme suit :

Tableau Annexe 18.2-7Coût d'entreposage des déchets MA-VL gérés par stockage géologique profond sur nouveau site (dans les branches 4.4 et 4.7), en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par stockage géologique profond sur nouveau site	
Solution de gestion pour les déchets MA-VL	**Stockage géologique profond sur nouveau site**
	Branches 4.4 et 4.7
Surcoût d'investissement	2 267 M€
Surcoût de fonctionnement	3 138 M€
Coût brut total	**5 406 M€**

Coût d'entreposage en vue du stockage des déchets HA dans une technologie prospective à partir de 2090 :

Branches 4.1.c et 4.3.b - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branches 4.1.d. et 4.2 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.4 - les déchets MA-VL sont gérés par stockage géologique profond sur un nouveau site et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.5 - les déchets MA-VL sont gérés par entreposage de longue durée renouvelé et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Dans ces branches, les déchets HA sont stockés à partir de 2091, au lieu de 2080 dans l'option de projet 1 ; on note donc un décalage et un allongement de la durée d'entreposage d'une dizaine d'années. Les surcoûts d'entreposage sont identiques à ceux identifiés pour la branche 3.1.a de l'option 3.

Coût d'entreposage en vue du stockage des déchets MA-VL à partir de 2090 dans une technologie prospective :

Branche 4.1.b - les déchets MA-VL sont gérés par une technologie prospective, les déchets HA sont gérés par stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo

Branche 4.1.d et 4.2 – les déchets HA et MA-VL sont gérés par une technologie prospective

Dans ces branches, les premiers déchets MA-VL sont stockés à partir de 2090, au lieu de 2030 dans la phase industrielle pilote de l'option de projet 1. On note donc un décalage de 60 ans de la mise en stockage des déchets MA-VL. Les surcoûts d'entreposage sont estimés comme suit :

Tableau Annexe 18.2-8Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par technologie prospective (dans les branches 4.1.b - 4.1.d et 4.2) en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par technologie prospective	
Solution de gestion pour les déchets MA-VL	**Technologie prospective**
	Branches 4.1.b - 4.1.d et 4.2
Surcoût d'investissement	1 709 M€
Surcoût de fonctionnement	2 046 M€
Coût brut total	**3 756 M€**

Coût d'entreposage dans le cadre de l'entreposage renouvelé de longue durée des déchets MA-VL :

Branche 4.5 - les déchets MA-VL sont gérés par entreposage de longue durée renouvelé et les déchets HA sont gérés par une technologie prospective

Branche 4.8 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par entreposage de longue durée renouvelé

Dans ces branches, aucune technologie prospective n'a été trouvée pour les déchets MA-VL, ni, dans la branche 4.8, pour les déchets HA. Par ailleurs, le site actuel de Cigéo en Meuse/Haute-Marne est perdu et la recherche d'un nouveau site est infructueuse. Ainsi, les déchets MA-VL (et HA pour l'option 4.8) sont entreposés continuellement, ce qui entraîne des surcoûts à la fois d'investissement et de fonctionnement.

Tableau Annexe 18.2-9Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par entreposage de longue durée renouvelé (dans les branches 4.5 et 4.8), en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par entreposage de longue durée renouvelé	
Solution de gestion pour les déchets MA-VL	**Entreposage de longue durée renouvelé**
Typologie de coût	**Branches 4.5 et 4.8**
Surcoût d'investissement	7 939 M€
Surcoût de fonctionnement	21 764 M€
Coût brut total	**29 748 M€**

Coût d'entreposage dans le cadre de l'entreposage renouvelé de longue durée des déchets HA :

Branche 4.8 - les déchets HA et MA-VL sont gérés par entreposage de longue durée renouvelé

Tableau Annexe 18.2-10Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par entreposage de longue durée renouvelé (dans la branche 4.8), en millions d'euros$_{2019}$

Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par entreposage de longue durée renouvelé	
Solution de gestion pour les déchets HA	**Entreposage de longue durée renouvelé**
Typologie de coût	**Branche 4.8**
Surcoût d'investissement	2 924 M€
Surcoût de fonctionnement	2 795 M€
Coût brut total	**5 719 M€**

Surcoûts d'entreposage générés par l'ensemble des branches de l'option 4 :

Tableau Annexe 18.2-11Coût d'entreposage des branches de l'option 4

Option 4	MA-VL		HA		Surcoût d'entreposage
	Solution de gestion	Surcoût	Solution de gestion	Surcoût	
Branche 4.1.a	Stockage géologique profond en 2070	3 155 M€	Stockage géologique profond en 2070	48 M€	**3 203 M€**
Branche 4.1.b	Technologie prospective en 2070	3 756 M€	Stockage géologique profond en 2070	48 M€	**3 804 M€**
Branche 4.1.c	Stockage géologique profond en 2070	3 155 M€	Technologie prospective en 2070	48 M€	**3 203 M€**
Branche 4.1.d	Technologie prospective en 2070	3 756 M€	Technologie prospective en 2070	48 M€	**3 804 M€**
Branche 4.2	Technologie prospective en 2070	3 756 M€	Technologie prospective en 2070	48 M€	**3 804 M€**
Branche 4.3.a	Stockage géologique profond en 2070	3 155 M€	Stockage géologique profond en 2070	48 M€	**3 203 M€**
Branche 4.3.b	Stockage géologique profond en 2070	3 155 M€	Technologie prospective en 2070	48 M€	**3 203 M€**
Branche 4.4	Stockage géologique profond sur nouveau site en 2100	5 406 M€	Technologie prospective en 2070	48 M€	**5 453 M€**
Branche 4.5	Entreposage de longue durée renouvelé	29 732 M€	Technologie prospective en 2070	48 M€	**29 780 M€**
Branche 4.6	Stockage géologique profond en 2070	3 155 M€	Stockage géologique profond en 2070	48 M€	**3 203 M€**
Branche 4.7	Stockage géologique profond sur nouveau site en 2100	5 405 M€	Stockage géologique profond sur nouveau site en 2100	555 M€	**5 960 M€**

Option 4	MA-VL		HA		Surcoût d'entreposage
	Solution de gestion	Surcoût	Solution de gestion	Surcoût	
Branche 4.8	Entreposage de longue durée renouvelé	29 732 M€	Entreposage de longue durée renouvelé	5 720 M€	**35 452 M€**

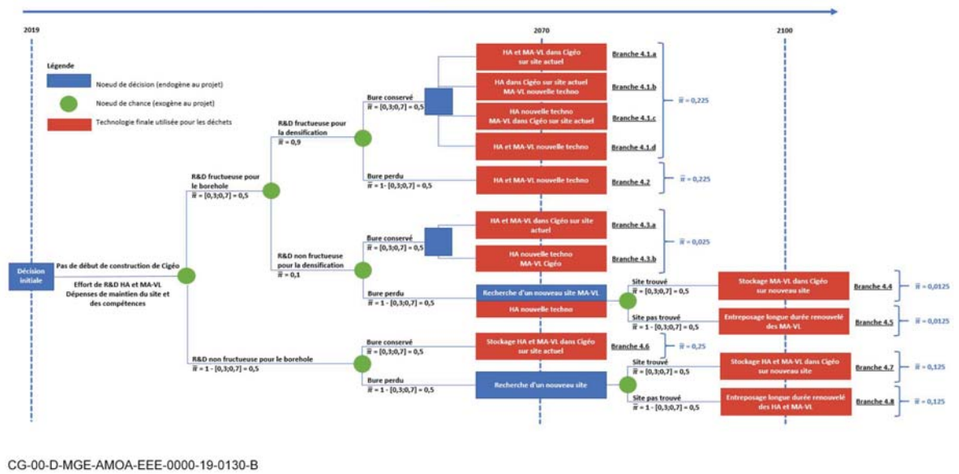
Après avoir détaillé l'ensemble des coûts unitaires des différentes branches constitutives de l'option 4, le chapitre suivant fournit des représentations graphiques des coûts actualisés, selon les différents taux d'actualisation et dans le cadre des deux *scenarii* envisagés. L'évolution des prix relatifs et l'approche probabiliste de Monte-Carlo, qui permettent de tenir compte des risques sur les coûts, sont intégrées.

18.3 Coût actualisé de l'option 4

Après une présentation des probabilités d'occurrence des branches de l'option 4 dans le chapitre 18.3.1, le chapitre 18.3.2 traite du scénario OK, tandis que le chapitre 18.3.3 traite du scénario KO. Rappelons que ces chapitres ne traitent que des coûts de mise en place des solutions de gestion (stockage géologique profond, technologie prospective ou entreposage de longue durée renouvelé). Les coûts liés au risque d'accident ne sont pas pris en compte à ce stade. Le chapitre 18.3.4 permet de visualiser les résultats en tenant compte du coût probabilisé de l'accident (incendie en entreposage) dans les branches 4.5 et 4.8. Voir les chapitres 6 et 7 pour les détails relatifs à l'accident et l'analyse coûts-bénéfices comparant les options entre elles.

18.3.1 Probabilité d'occurrence des branches de l'option 4

Le graphique suivant rappelle, pour toutes les branches, les hypothèses de probabilités d'occurrence qui ont été retenues.



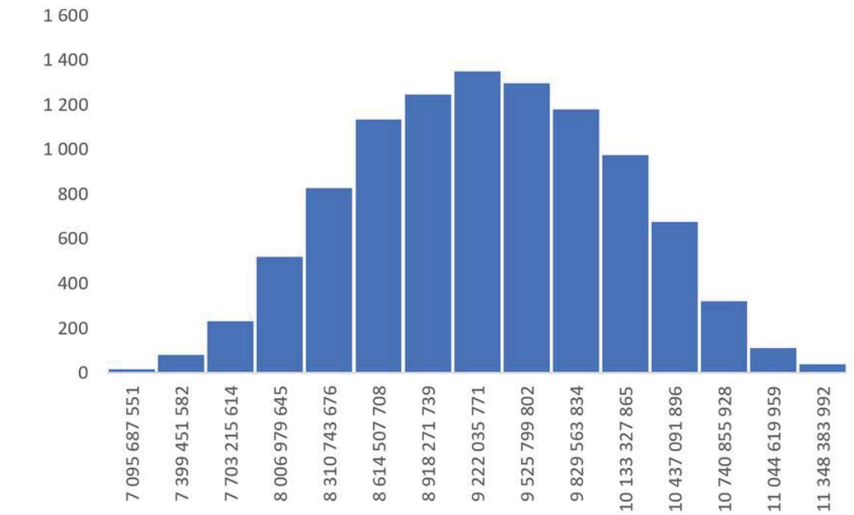
CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0130-B

Figure Annexe 18.3-1 Hypothèses de probabilité d'occurrence des branches de l'option 4

18.3.2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK

Tableau Annexe 18.3-1Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK

Option 4 Scenario OK	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Actualisation haute	9 019 M€	809 M€	6 791 M€	11 384 M€	7 716 M€ ; 10 329 M€
Actualisation intermédiaire	12 096 M€	1 026 M€	9 098 M€	14 947 M€	10 434 M€ ; 13 752 M€
Actualisation basse	17 133 M€	1 296 M€	13 168 M€	21 249 M€	14 980 M€ ; 19 275 M€



CG-00-D-MGE-AMOA-EEE-0000-19-0131-B

Figure Annexe 18.3-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, dans le scénario OK

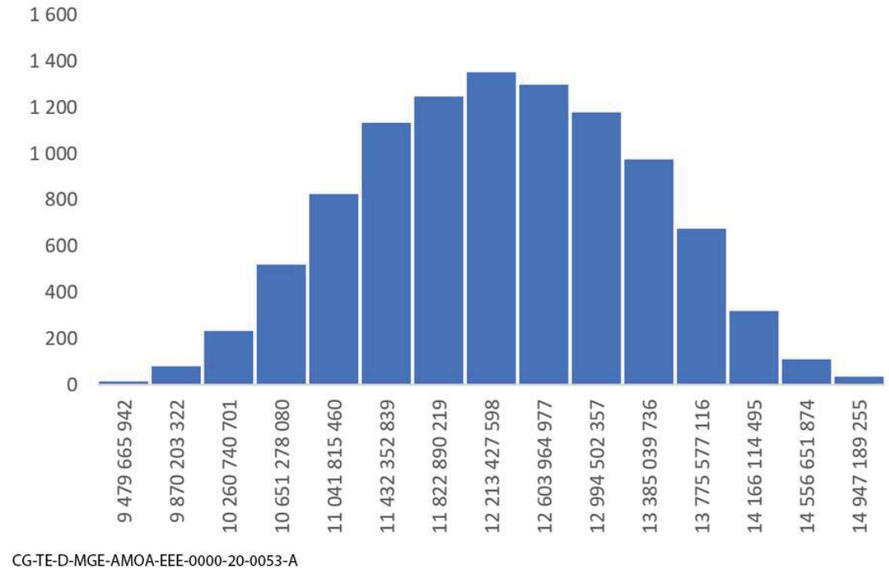


Figure Annexe 18.3-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, dans le scénario OK

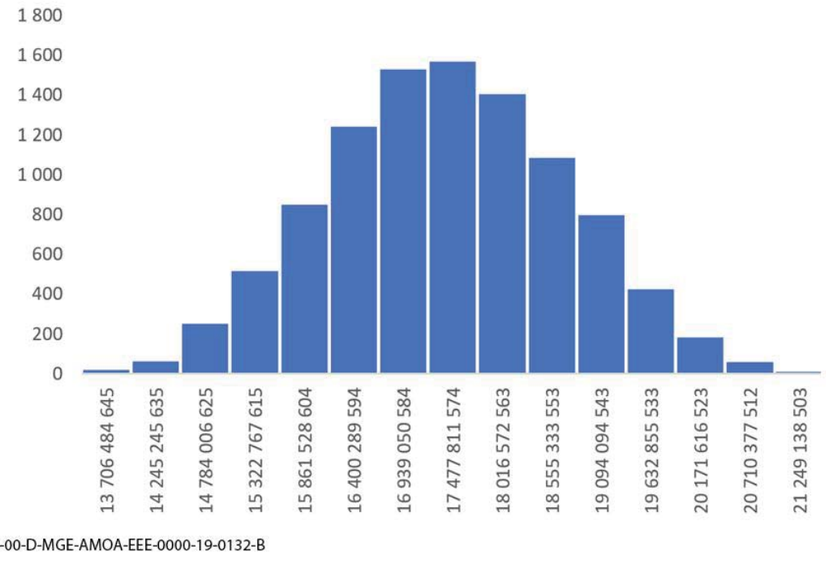


Figure Annexe 18.3-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, dans le scénario OK

18.3.3 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident

Tableau Annexe 18.3-2Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident

Option 4 Scenario KO sans accident	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Actualisation haute	11 739 M€	1 001 M€	8 701 M€	14 681 M€	10 108 M€ ; 13 364 M€
Actualisation intermédiaire	18 638 M€	1 531 M€	14 026 M€	23 141 M€	16 081 M€ ; 21 184
Actualisation basse	34 455 M€	2 722 M€	25 595 M€	42 799 M€	29 334 M€ ; 38 842 M€

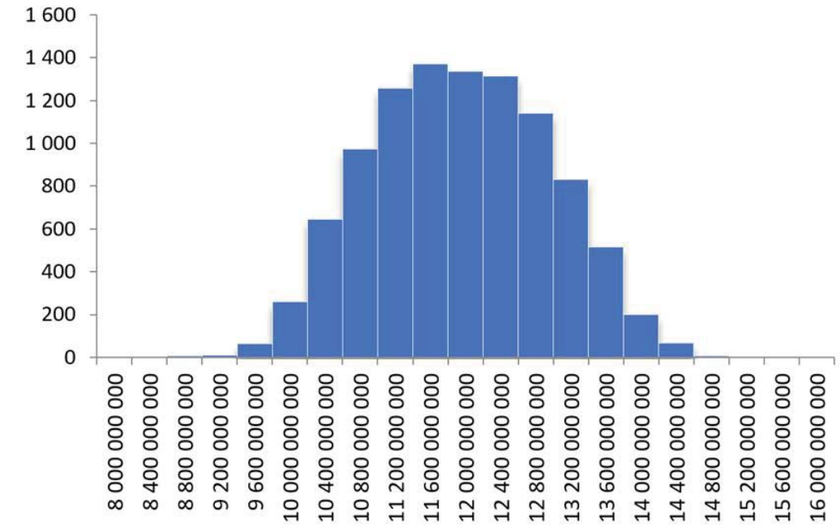


Figure Annexe 18.3-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, dans le scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident

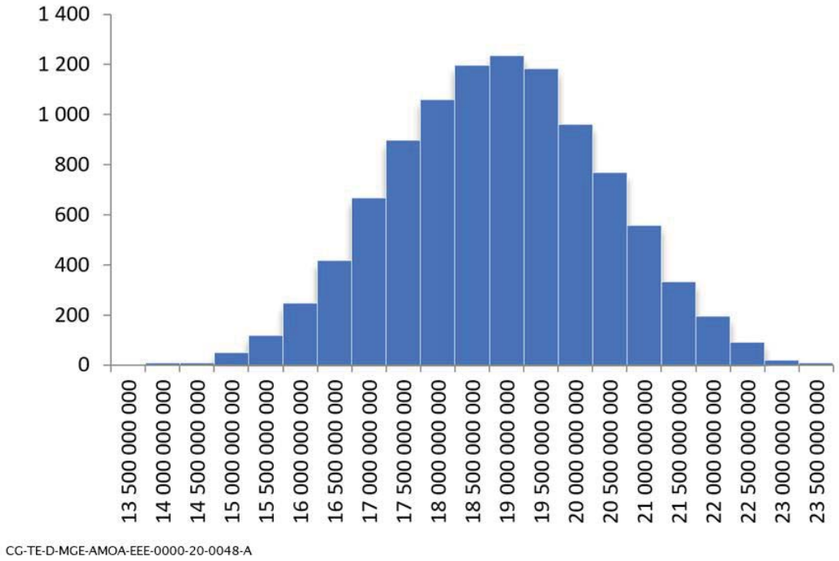


Figure Annexe 18.3-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, dans le scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident

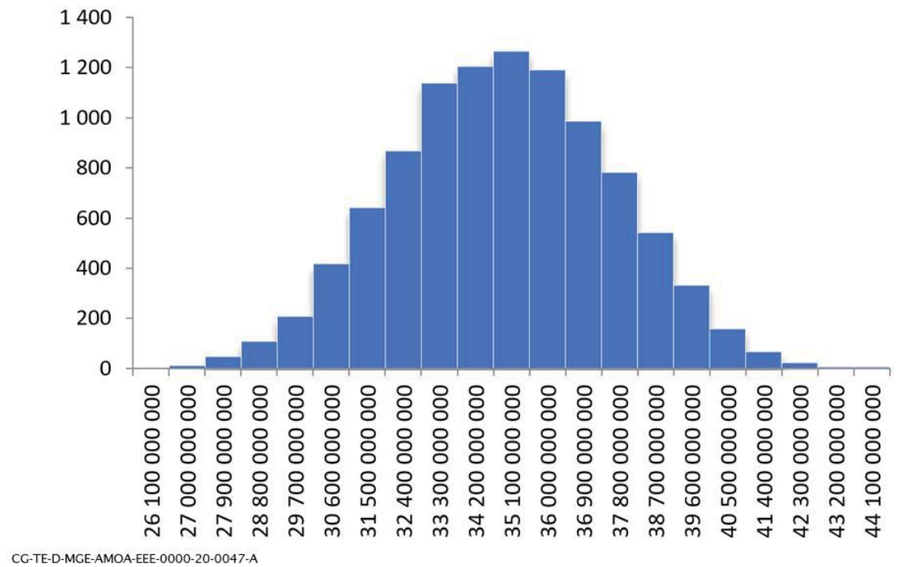


Figure Annexe 18.3-7 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, dans le scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident

18.3.4 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, avec prise en compte du risque d'accident

Ce chapitre permet de visualiser les résultats de l'option 4 lorsque le risque d'accident est pris en compte, soit uniquement dans le scénario KO. La prise en compte du risque d'accident accroît considérablement le coût de l'option 4.

Tableau Annexe 18.3-3Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, avec prise en compte du risque d'accident

Option 4 Scenario KO avec accident	Moyenne	Écart-type	Min	Max	[5 % ; 95 %]
Actualisation haute	12 636 M€	1 096 M€	9 481 M€	16 285 M€	10 857 M€ ; 14 425 M€
Actualisation intermédiaire	23 006 M€	1 867 M€	17 126 M€	30 046 M€	19 941 M€ ; 26 116 M€
Actualisation basse	43 825 M€	4 836 M€	30 364 M€	67 640 M€	36 535 M€ ; 52 360 M€

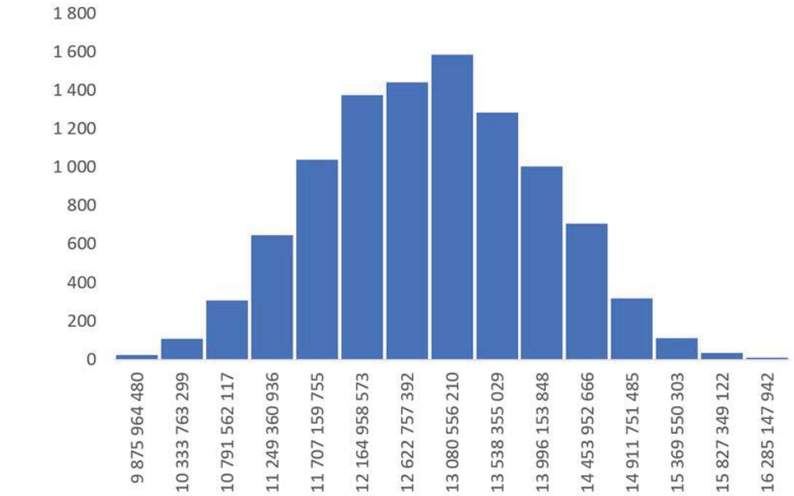


Figure Annexe 18.3-8 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, dans le scénario KO avec prise en compte du risque d'accident

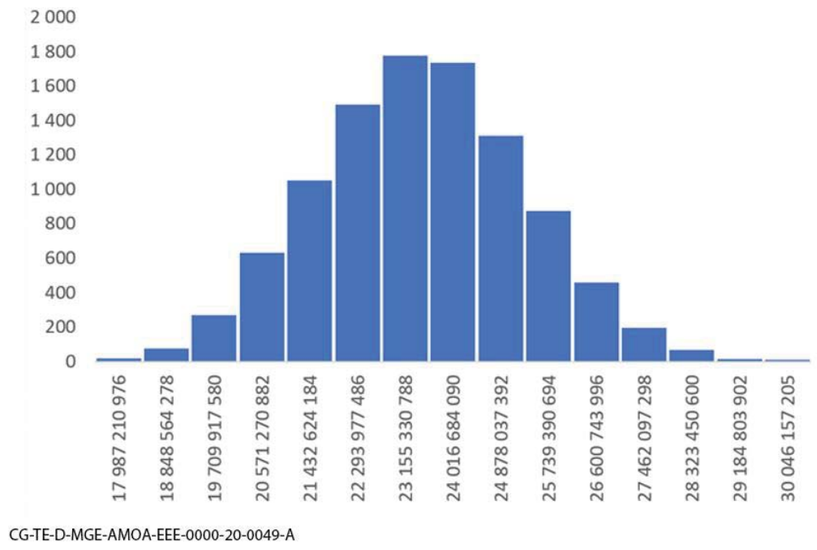


Figure Annexe 18.3-9 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, dans le scénario KO avec prise en compte du risque d'accident

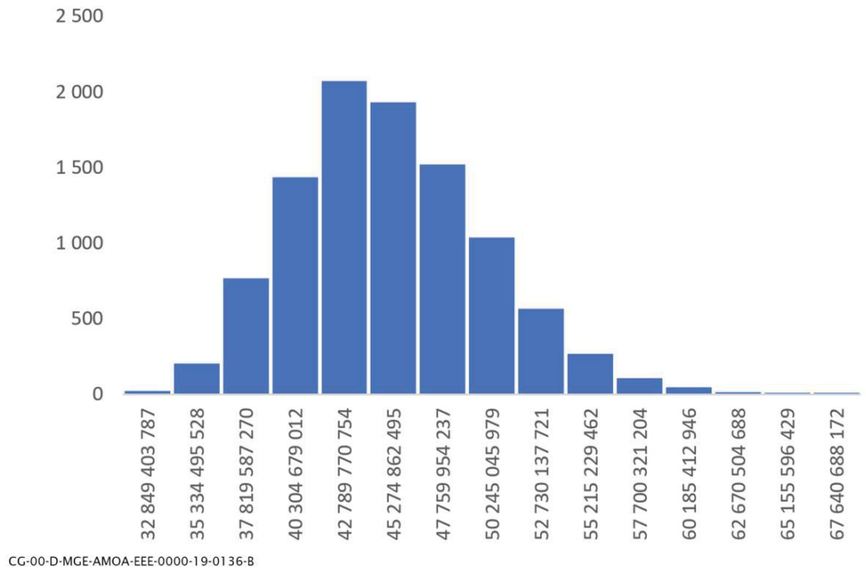


Figure Annexe 18.3-10Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, dans le scénario KO avec prise en compte du risque d'accident

18.4 Prise en compte de la valeur d'option au sein de l'option 4

18.4.1 Construction du modèle et critère de décision sans valeur d'option

Le calcul des coûts actualisés des options de projet s'est jusqu'à présent fondé sur une approche en aléatoire (c'est-à-dire avec la mise en œuvre de tirages Monte-Carlo), mais sans valeur d'option.

Pour ce faire, un certain nombre de coûts unitaires (coût de mise en place de Cigéo, coût de R&D, coût de recherche de site, coût d'une technologie prospective, coût d'entreposage, coût de transport, coût de maintien de site, etc.) ont été définis. Ces coûts unitaires, déterministes, représentent la « meilleure estimation » que l'on puisse faire aujourd'hui de chacun de ces types de coûts.

Ces coûts unitaires ne pouvant être qu'une estimation, une fourchette de risque encadrant ces coûts unitaires ont été définis. Pour rappel, les fourchettes retenues sont de 80 % à 150 % du coût brut pour l'ensemble de ces coûts unitaires précités.

Des tirages Monte-Carlo (au nombre de 10 000) ont ensuite été effectués sur les coûts de chaque branche.

Chaque tirage effectué représente un « état du monde » possible. Par exemple, le tableau ci-dessous liste la valeur prise par chaque paramètre pour trois tirages. Ainsi, le premier tirage représente un état du monde au sein duquel les coûts de transport, de GIP et de maintien de site sont relativement supérieurs à notre meilleure estimation actuelle (>100 %), alors que les coûts d'entreposage, de maintien des compétences, de R&D et de recherche de site sont relativement inférieurs (<100 %). Le second tirage représente un état du monde au sein duquel l'ensemble des coûts sont relativement supérieurs à notre meilleure estimation actuelle ; dans le troisième tirage, l'ensemble des coûts, à l'exception des coûts de mise en place de Cigéo et de maintien des compétences, sont inférieurs.

Tableau Annexe 18.4-1Exemples de valeurs de tirages

Tirage n°	Coûts unitaires							
	Mise en place de Cigéo	R&D	Recherche de site	Entreposage	Transport	GIP	Maintien de compétences	Maintien du site
1	105 %	99 %	87 %	81 %	130 %	148 %	77 %	130 %
2	140 %	133 %	140 %	123 %	136 %	121 %	113 %	144 %
3	112 %	85 %	97 %	89 %	76 %	88 %	112 %	97 %

Le critère de choix est alors le suivant : à chaque nœud de décision, le décideur choisi la branche disponible dont la valeur moyenne est la plus faible. On note les possibilités comme suit :

1. Mettre en place Cigéo pour les déchets HA et MA-VL, en 2070, dont le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_1}$;
2. Mettre en place Cigéo uniquement pour les déchets HA et mettre en œuvre une technologie prospective pour les déchets MA-VL, en 2070, dont le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_2}$;
3. Mettre en place Cigéo uniquement pour les déchets MA-VL et mettre en œuvre une technologie prospective pour les déchets HA, en 2070, dont le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_3}$;
4. Mettre en place une technologie prospective pour les déchets HA MA-VL, en 2070, dont le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_4}$;

5. Mettre en place une technologie prospective pour les déchets HA en 2070, puis mettre en place Cigéo uniquement pour les déchets MA-VL sur un nouveau site en 2100. Le décideur ne pourra bénéficier de cette possibilité qu'avec une probabilité p_8 (variable aléatoire distribuée uniformément entre 0,3 et 0,7, avec une moyenne de 0,5), et devra mettre en œuvre 6. avec une probabilité $1 - p_8$ sinon. Le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_5}$;
6. Mettre en place une technologie prospective pour les déchets HA en 2070, puis faire de l'entreposage de longue durée renouvelé des déchets MA-VL, dont le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_6}$;
7. Rechercher un nouveau site pour Cigéo et mettre en œuvre Cigéo pour les déchets HA et MA-VL en 2100. Le décideur ne pourra bénéficier de cette possibilité qu'avec une probabilité p_9 (variable aléatoire distribuée uniformément entre 0,3 et 0,7, avec une moyenne de 0,5), et devra mettre en œuvre 8. avec une probabilité $1 - p_9$ sinon. Le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_7}$;
8. Faire de l'entreposage de longue durée renouvelé des déchets HA et MA-VL. Le coût moyen sur l'ensemble des tirages effectués est noté $\overline{C_8}$;

Ainsi, le décideur public cherchera le coût minimal moyen $(\overline{C_1} - \overline{C_8})$ parmi les options disponibles pour chaque nœud de décision en 2070. Par exemple, la première possibilité de l'option 4 est la situation où le site de Meuse/Haute-Marne est maintenu, et la recherche est fructueuse pour les déchets HA et le déchets MA-VL. Dans cette situation, le décideur bénéficie de toutes les options de gestion de déchets possibles. Ainsi, il cherchera le coût minimal parmi $\overline{C_1}, \overline{C_2}, \overline{C_3}, \overline{C_4}, \overline{C_6}(\overline{C_5}p_8 + \overline{C_6}(1 - p_8)), (\overline{C_7}p_9 + \overline{C_8}(1 - p_9)), \overline{C_8}$

18.4.2 Construction du modèle et critère de décision avec valeur d'option

En mobilisant comme critère la minimisation du coût moyen, l'espérance de l'option 4 est surestimée. En effet, en 2070, lorsque le décideur devra faire un choix entre les différentes branches, il saura dans quel état du monde il se trouve. Pour un même nœud de décision, son choix pourra ainsi différer en fonction des tirages (états du monde).

L'approche avec valeur d'option intègre dans le calcul de l'espérance (i) le gain d'information et (ii) la flexibilité dont bénéficie le décideur public. Au lieu de choisir dès aujourd'hui la branche (ou les branches pondérées) dont l'espérance moyenne est la plus faible avec les informations disponibles aujourd'hui, le choix avec valeur d'option reporte cette décision à 2070. Il laisse la flexibilité au décideur de choisir, au sein de chaque tirage (état du monde) la branche (ou les branches pondérées) qui minimisent l'espérance de coût de l'option.

Par exemple, en 2070, la première possibilité de l'option 4 est la situation où le site de Meuse/Haute-Marne est maintenu, et la recherche est fructueuse pour les déchets HA et les déchets MA-VL. Dans cette situation, le décideur bénéficie de toutes les options de gestion de déchets possibles. Celles-ci sont les suivantes :

1. Mettre en place Cigéo pour les déchets HA et MA-VL, en 2070, dont le coût pour le tirage t est noté C_{1t} ;
2. Mettre en place Cigéo uniquement pour les déchets HA et mettre en œuvre une technologie prospective pour les déchets MA-VL, en 2070, dont le coût pour le tirage t est noté C_{2t} ;
3. Mettre en place Cigéo uniquement pour les déchets MA-VL et mettre en œuvre une technologie prospective pour les déchets HA, en 2070, dont le coût pour le tirage t est noté C_{3t} ;
4. Mettre en place une technologie prospective pour les déchets HA MA-VL, en 2070, dont le coût pour le tirage t est noté C_{4t} ;
5. Mettre en place une technologie prospective pour les déchets HA en 2070, puis mettre en place Cigéo uniquement pour les déchets MA-VL sur un nouveau site en 2100. Le décideur ne pourra bénéficier de cette possibilité qu'avec une probabilité p_8 (variable aléatoire distribuée uniformément entre 0,3 et 0,7, avec une moyenne de 0,5), et devra mettre en œuvre 6. avec une probabilité $1 - p_8$ sinon. Le coût pour le tirage t est noté C_{5t} ;

6. Mettre en place une technologie prospective pour les déchets HA en 2070, puis faire de l'entreposage de longue durée renouvelé des déchets MA-VL, dont le coût pour le tirage t est noté C_{6t} ;
7. Rechercher un nouveau site pour Cigéo et mettre en œuvre Cigéo pour les déchets HA et MA-VL en 2100. Le décideur ne pourra bénéficier de cette possibilité qu'avec une probabilité p_9 (variable aléatoire distribuée uniformément entre 0,3 et 0,7, avec une moyenne de 0,5), et devra mettre en œuvre 8. avec une probabilité $1 - p_9$ sinon. Le coût pour le tirage t est noté C_{7t} ;
8. Faire de l'entreposage de longue durée renouvelé des déchets HA et MA-VL. Le coût pour le tirage t est noté C_{8t} ;

Le critère de choix du décideur sera, à chaque tirage, $Min(C_1, C_2, C_3, C_4, C_6, (C_5p_8 + C_6(1 - p_8)), (C_7p_9 + C_8(1 - p_9)), C_8)$. En notant t chaque tirage, l'espérance de la branche avec la prise en compte de la valeur d'option est donc de $MoyenneMin(C_{1t}, C_{2t}, C_{3t}, C_{4t}, C_{6t}, (C_{5t}p_{8t} + C_{6t}(1 - p_{8t})), (C_{7t}p_{9t} + C_{8t}(1 - p_{9t})), C_{8t})$.

Le tableau ci-dessous récapitule le choix du décideur public à chaque tirage pour chaque nœud de décision en 2070 :

Tableau Annexe 18.4-2Règle de décision à chaque nœud de décision avec valeur d'option

Situation en 2070	Choix à chaque tirage
Branche 4.1 : R&D fructueuse pour les HA et MA-VL **Site de Meuse/Haute-Marne conservé**	$Min(C_1, C_2, C_3, C_4, C_6, (C_5p_8 + C_6(1 - p_8)), (C_7p_9 + C_8(1 - p_9)), C_8)$, que l'on nomme $Min4.1$
Branche 4.2 : R&D fructueuse pour les HA et MA-VL **Site de Meuse/Haute-Marne perdu**	$Min(C_4, C_6, (C_5p_8 + C_6(1 - p_8)), (C_7p_9 + C_8(1 - p_9)), C_8)$, que l'on nomme $Min4.2$
Branche 4.3 : R&D fructueuse pour les HA uniquement **Site de Meuse/Haute-Marne conservé**	$Min(C_1, C_3, C_6, (C_5p_8 + C_6(1 - p_8)), (C_7p_9 + C_8(1 - p_9)), C_8)$, que l'on nomme $Min4.3$
Branches 4.4 et 4.5 : R&D fructueuse pour les HA uniquement **Site de Meuse/Haute-Marne perdu**	$Min(C_6, (C_5p_8 + C_6(1 - p_8)), (C_7p_9 + C_8(1 - p_9)), C_8)$, que l'on nomme $Min4.4$
Branche 4.6 : R&D pas fructueuse **Site de Meuse/Haute-Marne conservé**	$Min(C_1, (C_7p_9 + C_8(1 - p_9)), C_8)$, que l'on nomme $Min4.6$
Branches 4.7 et 4.8 : R&D pas fructueuse **Site de Meuse/Haute-Marne perdu**	$Min((C_7p_9 + C_8(1 - p_9)), C_8)$, que l'on nomme $Min4.7$

Il convient ensuite de multiplier chaque résultat obtenu à chaque tirage (le coût de la branche minimale obtenue à chaque nœud de décision) par leur probabilité d'occurrence, qui sont également variables en fonction des tirages. Ces probabilités d'occurrence dépendent de la valeur prise par la probabilité de maintien de site, d'identification d'un nouveau site et d'aboutissement de la R&D. Pour rappel, ces valeurs sont comprises entre 0,3 et 0,7, et distribuées de façon uniforme.

Tableau Annexe 18.4-3Probabilité à chaque nœud de décision

Branche de l'option 4	Probabilité	Valeur moyenne
Branche 4.1 : R&D fructueuse pour les HA et MA-VL Site de Meuse/Haute-Marne conservé	p_1	0,225
Branche 4.2 : R&D fructueuse pour les HA et MA-VL Site de Meuse/Haute-Marne perdu	p_2	0,25
Branche 4.3 : R&D fructueuse pour les HA uniquement Site de Meuse/Haute-Marne conservé	p_3	0,025
Branches 4.4 et 4.5 : R&D fructueuse pour les HA uniquement Site de Meuse/Haute-Marne perdu	p_4	0,025
Branche 4.6 : R&D pas fructueuse Site de Meuse/Haute-Marne conservé	p_6	0,25
Branches 4.7 et 4.8 : R&D pas fructueuse Site de Meuse/Haute-Marne perdu	p_7	0,25
Total		**1**

L'espérance a chaque tirage est alors égal a :

$$p_{1t}Min4.1_t + p_2Min4.2_t + p_3Min4.3_t + p_4Min4.4_t + p_6Min4.6_t + p_7Min4.7_t$$

L'espérance de l'option 4 avec la prise en compte de la valeur d'option est ensuite simplement égal a la moyenne de l'espérance a chaque tirage, pour les 10 000 tirages effectués.

18.4.3 Résultats en scénario OK

Tableau Annexe 18.4-4Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK, avec valeur d'option

Option 4 Scénario OK	Moyenne Sans valeur d'option	Moyenne avec valeur d'option	Écart-type avec valeur d'option	Min avec valeur d'option	Max avec valeur d'option	[5 % ; 95 %] avec valeur d'option
Actualisation haute	9 019 M€	9 018 M€	809 M€	6 792 M€	11 348 M€	7 716 M€ ; 10 328 M€
Actualisation intermédiaire	12 096 M€	12 096 M€	1 026 M€	9 098 M€	14 947 M€	10 434 M€ ; 13 752 M€
Actualisation basse	17 133 M€	16 786 M€	1 293 M€	13 046 M€	21 249 M€	14 677 M€ ; 18 963 M€

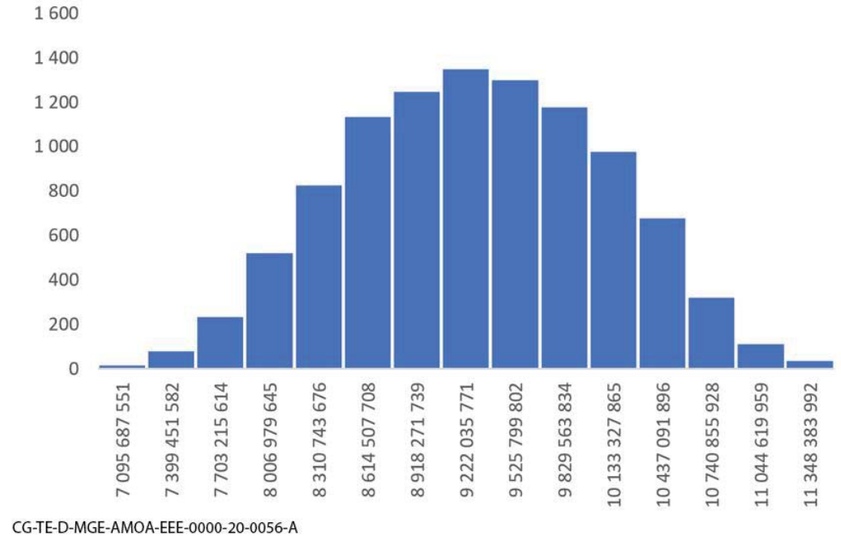


Figure Annexe 18.4-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4, avec prise en compte du risque d'accident, en borne haute, dans le scénario OK avec valeur d'option

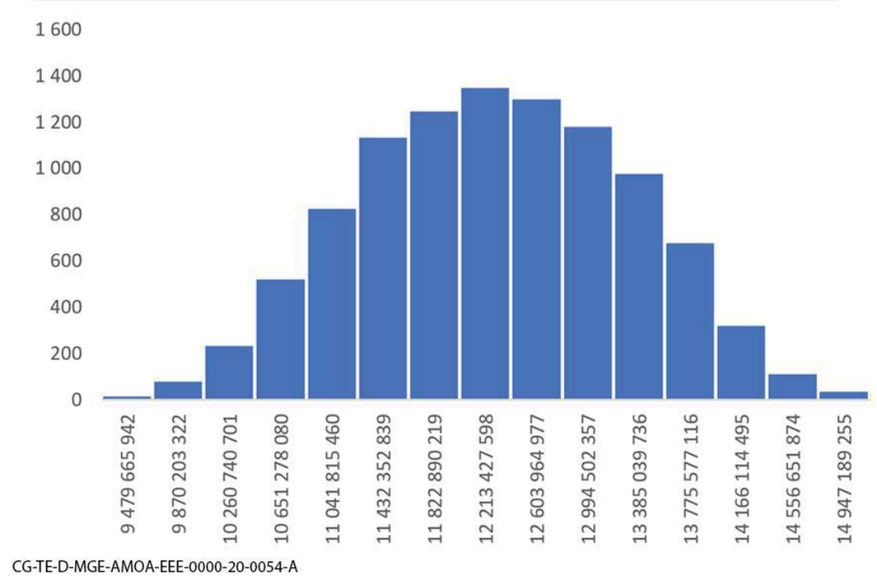


Figure Annexe 18.4-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4, avec prise en compte du risque d'accident, en borne intermédiaire, dans le scénario OK avec valeur d'option

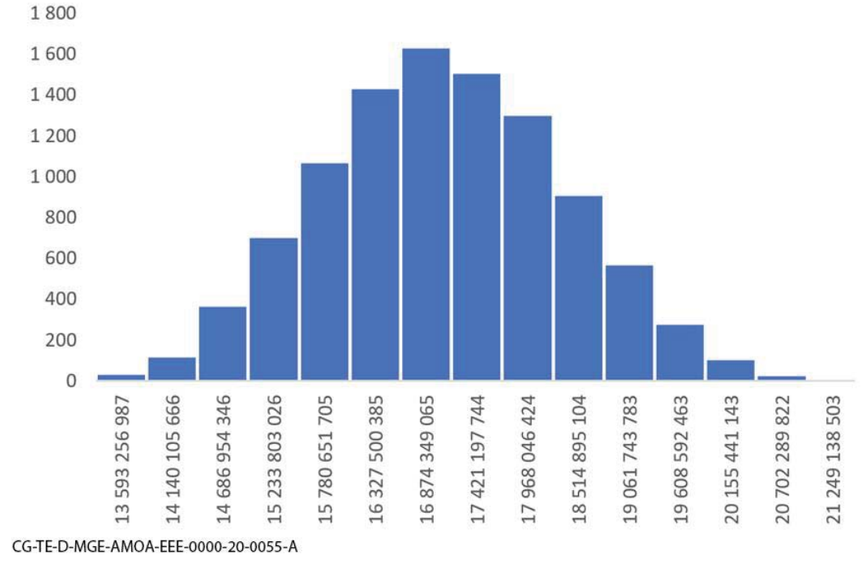


Figure Annexe 18.4-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4, avec prise en compte du risque d'accident, en borne basse, dans le scénario OK avec valeur d'option

18.4.4 Résultats en scénario KO

Tableau Annexe 18.4-5Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, avec valeur d'option

Option 4 Scenario KO avec accident	Moyenne Sans valeur d'option	Moyenne avec valeur d'option	Écart-type avec valeur d'option	Min avec valeur d'option	Max avec valeur d'option	[5 % ; 95 %] avec valeur d'option
Actualisation haute	12 636 M€	12 589 M€	1 071 M€	9 481 M€	16 285 M€	10 849 M€ ; 14 331 M€
Actualisation intermédiaire	23 006 M€	22 642 M€	2 096 M€	15 836 M€	30 046 M€	19 177 M€ ; 26 087 M€
Actualisation basse	43 825 M€	43 047 M€	5 228 M€	28 594 M€	67 640 M€	36 180 M€ ; 52 304 M€

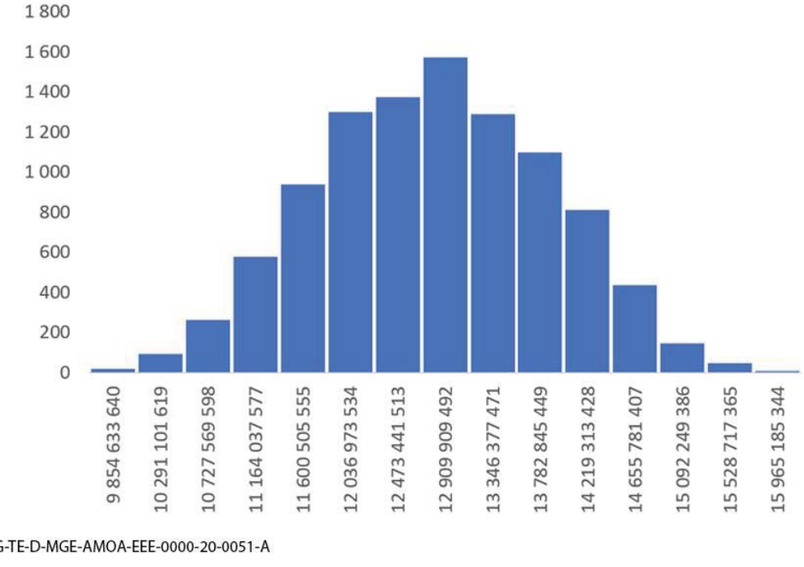


Figure Annexe 18.4-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, avec prise en compte du risque d'accident, dans le scénario KO avec valeur d'option

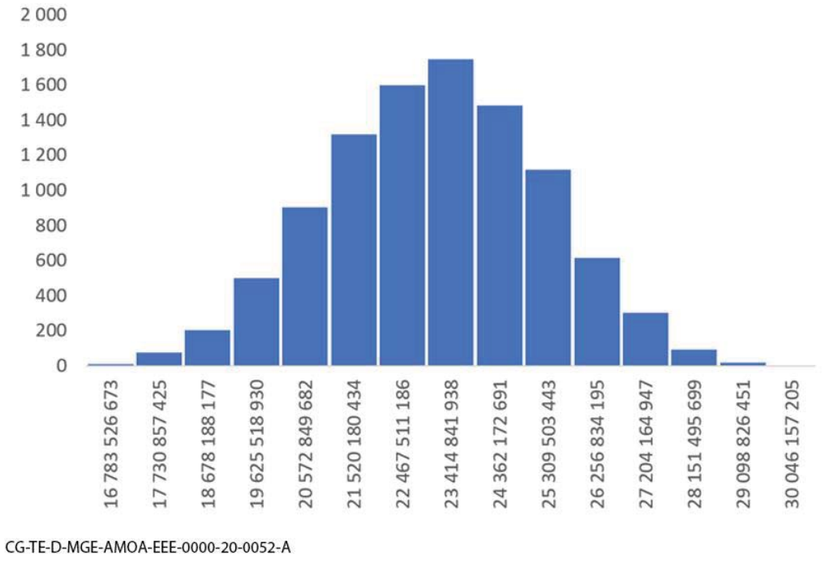


Figure Annexe 18.4-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, avec prise en compte du risque d'accident, dans le scénario KO avec valeur d'option

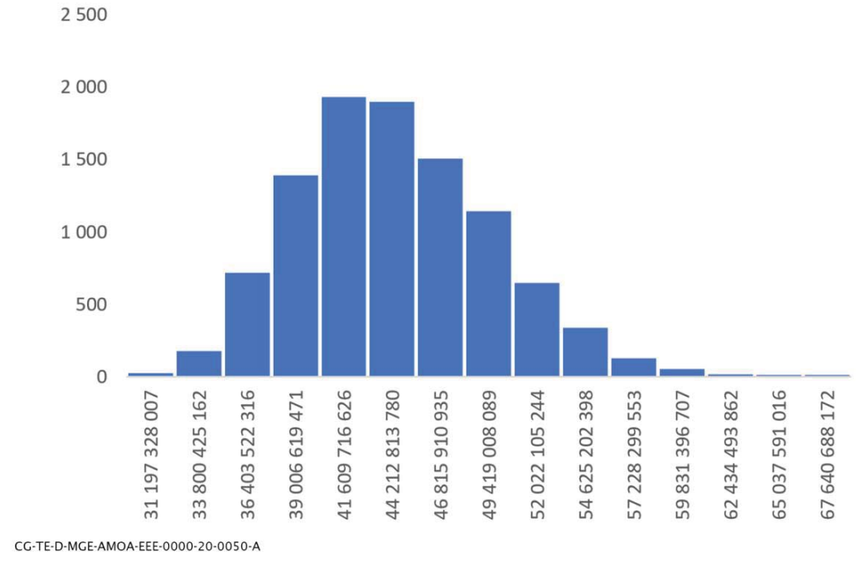


Figure Annexe 18.4-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, avec prise en compte du risque d'accident, dans le scénario KO avec valeur d'option

Annexe 19 Détail des coûts et représentation graphique des variantes de l'option de projet 1

Les variantes de l'option de projet 1 consistent au décalage de 10 ans (variante à 2029) ou de 20 ans (variante à 2039) de l'option de projet 1 (considérée dès 2019).

19.1 Coûts unitaires des variantes de l'option de projet 1

19.1.1 Coût de mise en place de Cigéo

Concernant les coûts relatifs à la mise en place du stockage géologique profond dans le centre de stockage Cigéo, nous mobilisons pour les variantes : décalage de 10 ans et décalage de 20 ans, un coût identique à celui mobilisé pour l'option de projet 1, soit 25 811 millions d'euros.

Notons que, au sein de ces variantes, la durée de fonctionnement de Cigéo est réduite, du fait de la concomitance des périodes de stockage entre les déchets MA-VL et HA. En effet dans les variantes, le décalage de la période de stockage des déchets MA-VL, plus courte, vient s'intercaler en parallèle de la période de stockage des déchets HA, plus longue et demeurant inchangée dans les variantes relativement à ce qui est observé dans l'option de projet 1. Ainsi :

- en option de projet 1, les MA-VL sont stockés entre 2040 et 2100, et les HA entre 2080 et 2145 ; la durée de fonctionnement totale est ainsi de 105 ans ;
- dans la variante à 2029, avec un décalage de 10 ans, les MA-VL sont stockés entre 2050 et 2110, et les HA entre 2080 et 2145 ; la durée de fonctionnement totale est ainsi de 95 ans ;
- dans la variante à 2039, avec un décalage de 20 ans, les MA-VL sont stockés entre 2060 et 2120, et les HA entre 2080 et 2145 ; la durée de fonctionnement totale est ainsi de 85 ans.

Cette réduction de la durée de fonctionnement pourrait réduire certaines catégories de coûts, et notamment celles liées à la fiscalité. Afin de prendre en compte cette économie potentielle, un ajustement de coût a été effectué pour les branches de l'option 4 où Cigéo est mis en place en 2070 ou 2100. Le coût a alors été estimé à 25 518 millions d'euros, soit une économie très marginale pour une durée de fonctionnement réduite à 65 ans. Ainsi, nous choisissons de ne pas modéliser de réduction de coût pour les décalages de mise en œuvre de Cigéo de 10 et 20 ans.

Nous supposons toutefois, dans la modélisation des autres coûts afférents à cette variante et liés à la date de commencement de stockage des HA (transport et entreposage), afin de ne pas alourdir cette variante de coûts d'entreposage et ainsi commettre de biais d'optimisme en faveur de Cigéo, que le début de stockage des HA commence, quel que soit la variante (+10 ans ou +20 ans) en 2080, et non en 2090 (décalage de 10 ans) ou 2100 (décalage de 20 ans). La date de 2080 respecte la période de 60 ans de décroissance thermique des déchets HA, nécessaire en amont de leur stockage.

19.1.2 Coût de GIP

Nous posons l'hypothèse d'un prolongement des GIP jusqu'à la décision de mise en place de Cigéo, soit :

- 2029 pour un décalage de 10 ans ; cela correspond à un coût total 510 millions d'euros ;
- 2039 pour un décalage de 20 ans ; cela correspond à un coût total de 810 millions d'euros.

19.1.3 Coût de transport

Les coûts de transport de déchets sont identiques à ceux mobilisés pour l'ensemble des autres options, soit 231 millions d'euros pour les déchets HA et 1 241 millions d'euros pour les déchets MA-VL.

19.1.4 Coût de maintien du site

Comme pour l'option 4, nous posons l'hypothèse d'un coût de maintien du site à hauteur de 32,4 millions d'euros par an. Ces dépenses sont effectuées jusqu'à la décision de mise en place de Cigéo, soit :

- 2029 pour un décalage de 10 ans ; cela correspond à un coût total 324 millions d'euros ;
- 2039 pour un décalage de 20 ans ; cela correspond à un coût total de 648 millions d'euros.

19.1.5 Coût de maintien des compétences

Comme pour l'option 4, nous posons l'hypothèse d'un coût de maintien des compétences à hauteur de 24 millions d'euros par an. Ces dépenses sont effectuées jusqu'à la décision de mise en place de Cigéo, soit :

- 2029 pour un décalage de 10 ans ; cela correspond à un coût total 240 millions d'euros ;
- 2039 pour un décalage de 20 ans ; cela correspond à un coût total de 480 millions d'euros.

19.1.6 Coût d'entreposage

Pour un décalage de 10 ans comme pour un décalage de 20 ans, des surcoûts d'entreposage ne sont considérés que pour déchets MA-VL. En effet, les déchets HA peuvent être stockés, comme pour l'option de projet 1, dès 2080 dans ces deux cas de figure.

Les surcoûts d'entreposage, issus de données fournies pour les producteurs, sont les suivants :

- pour un décalage de 10 ans, un surcoût de 608 millions d'euros ;
- pour un décalage de 20 ans, un surcoût de 1 512 millions d'euros.

19.2 Coût brut des variantes de l'option de projet 1

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes composantes du coût brut de l'option de projet 1, et de ses variantes : décalage de 10 ans et de 20 ans.

Tableau Annexe 19.2-1Coût brut de l'option de projet 1 et de ses variantes : décalage de 10 ans et de 20 ans

Coût unitaire	Option de projet 1	Variante : décalage de 10 ans	Variante : décalage de 20 ans
Coût de mise en place de Cigéo	25 811 M€	25 811 M€	25 811 M€
Coût des GIP	420 M€	510 M€	810 M€
Coût de transport	1 472 M€	1 472 M€	1 472 M€
Coût de maintien du site	0 €	324 M€	648 M€
Coût de maintien des compétences	0 €	240 M€	480 M€
Coût d'entreposage	0 €	608 M€	1 511 M €
Coût brut total	**27 703 M€**	**28 965 M€**	**30 732 M€**

19.3 Représentation graphique des variantes de l'option de projet 1

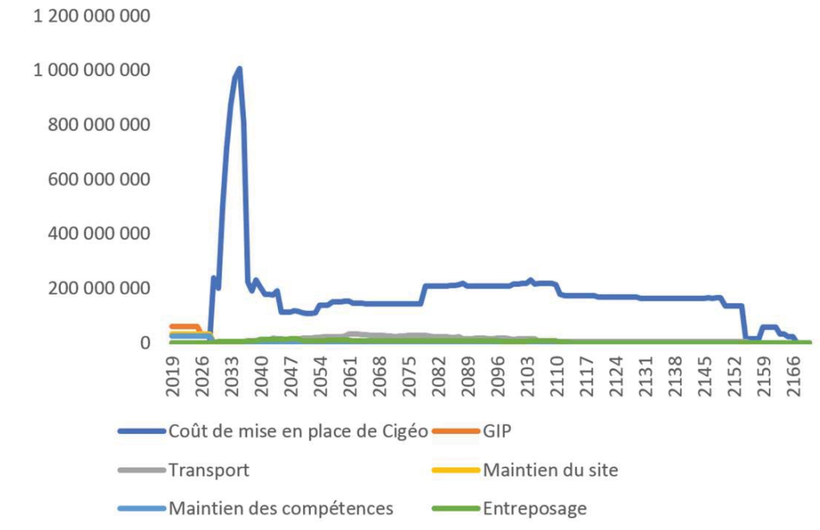


Figure Annexe 19.3-1 Chronique de coûts pour un décalage de 10 ans de l'option de projet 1

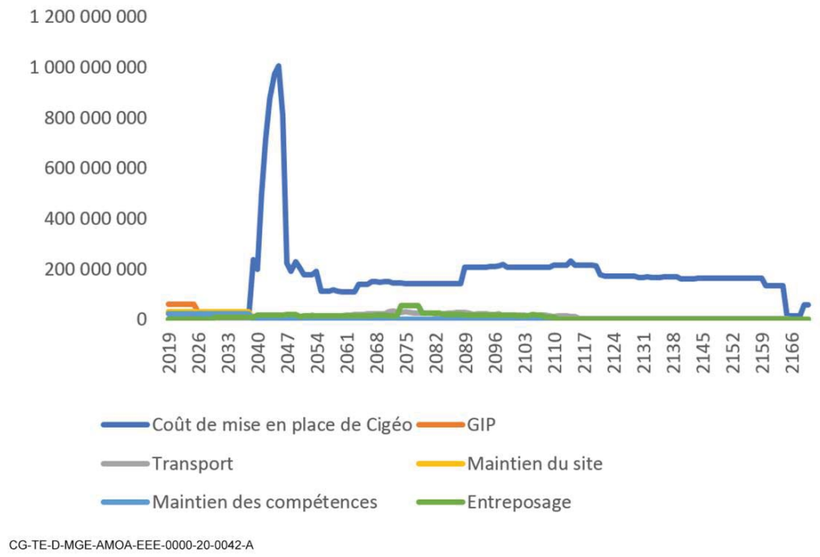


Figure Annexe 19.3-2 Chronique de coûts pour un décalage de 20 ans de l'option de projet 1

Annexe 20 Détail du calcul du bénéfice assurantiel

Calculs de bénéfice assurantiel (valeurs en milliards EUR 2019)

	Option 1		Variante Option 4	
Valeurs	OK	KO	OK	KO
Taux act bas	14,5	22,8	8,4	58,3
Taux act inter	12,5	16,7	4,0	14,2
Taux act haut	9,8	11,6	2,3	4,5
		p(KO)		
Bénéfice	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	6,0	1,9	-4,3	-35,5
Taux act inter	8,5	7,9	7,0	2,5
Taux act haut	7,5	7,5	7,4	7,2

	Option 4.1.d et 4.2		ELD en 2070	
Valeurs	OK	KO	OK	KO
Taux act bas	23,1	52,5	16,7	69,0
Taux act inter	17,2	30,8	11,6	23,7
Taux act haut	11,0	16,3	8,8	12,2
		p(KO)		
Bénéfice	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	6,4	4,1	0,7	-16,5
Taux act inter	5,5	5,7	5,9	7,1
Taux act haut	2,2	2,4	2,7	4,1

	Option 4.1.a, 4.3.a, 4.6		ELD en 2070	
Valeurs	OK	KO	OK	KO
Taux act bas	17,4	33,1	16,7	69,0
Taux act inter	14,0	21,8	11,6	23,7
Taux act haut	10,0	13,3	8,8	12,2
		p(KO)		
Bénéfice	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	0,7	-3,0	-8,5	-36,0
Taux act inter	2,4	2,0	1,3	-1,8
Taux act haut	1,2	1,2	1,2	1,2

	Option 4.4		Option 4.5	
Valeurs	OK	KO	OK	KO
Taux act bas	19,4	46,5	20,7	79,6
Taux act inter	15,0	27,5	14,6	30,2
Taux act haut	10,4	15,3	10,2	15,1
		p(KO)		
Bénéfice	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	-1,3	-4,5	-9,2	-33,1
Taux act inter	0,4	0,1	-0,4	-2,7
Taux act haut	0,1	0,1	0,1	0,2

	Option 4.1.b		ELD en 2070	
Valeurs	OK	KO	OK	KO
Taux act bas	25,1	56,6	16,7	69,0
Taux act inter	18,9	33,4	11,6	23,7
Taux act haut	11,8	17,5	8,8	12,2
		p(KO)		
Bénéfice	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	8,4	6,3	3,2	-12,4
Taux act inter	7,3	7,5	7,9	9,7
Taux act haut	3,0	3,3	3,6	5,4

	Option 4.7		Option 4.8	
Valeurs	OK	KO	OK	KO
Taux act bas	17,0	42,1	17,2	70,3
Taux act inter	13,0	23,8	12,1	24,6
Taux act haut	9,3	13,2	9,0	12,6
		p(KO)		
Bénéfice	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	-0,2	-3,0	-7,2	-28,2
Taux act inter	0,9	0,7	0,5	-0,8
Taux act haut	0,3	0,3	0,3	0,6

	Option 4.1.c et 4.3.b		ELD en 2070	
Valeurs	OK	KO	OK	KO
Taux act bas	19,3	37,5	16,7	69,0
Taux act inter	15,6	24,9	11,6	23,7
Taux act haut	10,8	14,9	8,8	12,2
		p(KO)		
Bénéfice	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	2,7	-0,7	-5,9	-31,5
Taux act inter	3,9	3,7	3,3	1,2
Taux act haut	2,1	2,1	2,2	2,8

Coût de l'ELD en 2070	OK			KO		
	2019-2070	2070-2600	Total	2019-2070	2070-2600	Total
Taux act bas	10,1	6,5	16,7	13,3	55,8	69,0
Taux act inter	9,4	2,3	11,6	11,6	12,1	23,7
Taux act haut	7,9	0,9	8,8	9,4	2,8	12,2

Proba branches	
Branche 4.1	0,23
Branche 4.2	0,23
Branche 4.3	0,03
Branche 4.4	0,01
Branche 4.5	0,01
Branche 4.6	0,25
Branche 4.7	0,13
Branche 4.8	0,13

Bénéfice Option 4.1	p(KO)			
	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	0,7	-3,0	-8,5	-36,0
Taux act inter	2,4	2,0	1,3	-1,8
Taux act haut	1,2	1,2	1,2	1,2

correspondant au minimum des branches 4.1.a à 4.1.d

Bénéfice Option 4.3	p(KO)			
	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	0,7	-3,0	-8,5	-36,0
Taux act inter	2,4	2,0	1,3	-1,8
Taux act haut	1,2	1,2	1,2	1,2

correspondant au minimum des branches 4.3.a à 4.3.b

Bénéfice max Option 4	p(KO)			
	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	6,4	4,1	0,7	-16,5
Taux act inter	5,5	5,7	5,9	7,1
Taux act haut	2,2	2,4	2,7	4,1

bénéfice maximum des branches 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.6 et 4.7

Coûts option 1	p(KO)			
	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	14,5	15,3	16,6	22,8
Taux act inter	12,5	13,0	13,6	16,7
Taux act haut	9,8	10,0	10,3	11,6

Coûts option 4 avec bénéfices	p(KO)			
	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	18,6	20,8	24,0	40,0
Taux act inter	14,5	15,5	17,0	24,5
Taux act haut	10,0	10,4	11,0	14,0

coûts espérés en allouant aux branches 4.5 et 4.8 les bénéfices des branches 4.4 et 4.7

Écart option 1 - option 4	p(KO)			
	0	0,1	0,25	1
Taux act bas	-4,2	-5,5	-7,4	-17,2
Taux act inter	-2,0	-2,6	-3,4	-7,7
Taux act haut	-0,2	-0,4	-0,7	-2,4

CG-TE-D-MGE-AMOA-EEE-0000-20-0063-A

Figure Annexe 19.3-1 Calcul du bénéfice assurantiel

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1.1-1	Le principe de l'évaluation socioéconomique	26
Figure 1.4-1	Contextualisation des échelles de temps de l'évaluation socioéconomique	31
Figure 1.4-2	Simulation de valeurs actualisées, en fonction du choix de taux d'actualisation	32
Figure 2.4-1	Historique du centre de stockage Cigéo et prochaines étapes (source Andra)	45
Figure 2.4-2	Les grandes phases du projet global Cigéo	46
Figure 2.4-3	Calendrier illustratif de l'option de projet 1 : le centre de stockage Cigéo tel que prévu par l'Andra	47
Figure 3.2-1	Projection de l'évolution annuelle du PIB/tête en €$_{2019}$, de 2019 à 2060, selon les données COR et INSEE	57
Figure 3.2-2	Projection du taux de croissance de PIB/tête en €2019, de 2019 à 2600, données COR et calculs des auteurs	58
Figure 3.2-3	Historique du niveau de PIB/tête en France en €$_{2019}$, de 1700 à 2019, données Maddison project database (41) et calculs des auteurs	59
Figure 3.2-4	Taux de croissance du PIB/tête du scénario KO de 2019 à 2100 selon les données « Shared socioeconomic pathways » (SSP3)	61
Figure 3.2-5	Taux de croissance du PIB/tête du scénario KO de 2019 à 2600, selon les données « Shared socioeconomic pathways » (SSP3) et calculs des auteurs	62
Figure 3.2-6	Récapitulatif du niveau de PIB/tête en France en €$_{2019}$, de 1280 à 2019, selon les données Maddison project database (41), et projection jusqu'en 2600, selon les calculs des auteurs	63
Figure 3.3-1	Courbe du taux de préférence pour le présent	71
Figure 3.3-2	Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario OK	74
Figure 3.3-3	Borne intermédiaire des taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario OK	75
Figure 3.3-4	Borne basse des taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario OK	75
Figure 3.3-5	Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario OK	76
Figure 3.3-6	Borne intermédiaire des taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario OK	76
Figure 3.3-7	Borne basse des taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario OK	77
Figure 3.3-8	Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario KO	80
Figure 3.3-9	Borne intermédiaire du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario KO	80
Figure 3.3-10	Borne basse du taux d'actualisation pour les flux liés au génie civil en scénario KO	81
Figure 3.3-11	Borne haute du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario KO	81

Figure 3.3-12	Borne intermédiaire du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario KO	82
Figure 3.3-13	Borne basse du taux d'actualisation pour les flux liés à la recherche et au maintien des compétences en scénario KO	82
Figure 3.4-1	Exemple – Nœud de décision déterministe	85
Figure 3.4-2	Exemple – Nœud de décision avec valeur d'option	87
Figure 3.4-3	Exemple – Valeur des tirages avec et sans valeur d'option	88
Figure 4.3-1	Calendrier illustratif de l'option de projet 1	97
Figure 4.4-1	Arbre de décision pour l'option 2	98
Figure 4.4-2	Calendrier illustratif de la branche 2.1.b	99
Figure 4.5-1	Arbre de décision pour l'option 3	100
Figure 4.5-2	Calendrier illustratif de la branche 3.1.a	102
Figure 4.5-3	Calendrier illustratif de mise en place de Cigéo en option de projet 1 et en option 3, selon les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3	103
Figure 4.6-1	Arbre de décision pour l'option 4	105
Figure 5.1-1	Historique des éléments constitutifs de la recherche et la sécurisation du site de Meuse/Haute-Marne	120
Figure 5.1-2	Historique et projection des coûts de recherche de site pour le site de Meuse/Haute-Marne	123
Figure 5.1-3	Exemple d'installation d'entreposage de déchets HA de type puits : hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7 UP2 800 du site Orano de La Hague © Orano	134
Figure 5.1-4	Exemple d'installation d'entreposage de déchets MA-VL : installation STE3 (photo prise à travers un hublot de protection) du site Orano de La Hague © Orano	134
Figure 5.2-1	La répartition des coûts afférents à Cigéo	143
Figure 5.2-2	Chronique du coût de mise en place de Cigéo dans l'option de projet 1, par composante	143
Figure 5.2-3	Chronique de transport des déchets pour l'option de projet 1 – en m^3 de colis	144
Figure 5.2-4	Chronique du coût brut de l'option de projet 1	144
Figure 5.2-5	Coût de l'option de projet 1 en scénario OK	146
Figure 5.2-6	Coût de l'option de projet 1 en scénario KO	146
Figure 5.2-7	Coût actualisé de l'option de projet 1 et ses variantes (démarrage en 2029 ou 2039), selon le scénario et le taux d'actualisation	148
Figure 5.3-1	Chronique des coûts pour les trois branches de l'option 2	150
Figure 5.3-2	Chronique des coûts pour les branches 2.1.a et 2.2 de l'option 2	151
Figure 5.3-3	Chronique des coûts pour la branches 2.1.b de l'option 2	151
Figure 5.3-4	Coût des différentes branches de l'option 2	152
Figure 5.3-5	Résultats des branches de l'option 2, pour la borne haute, basse et intermédiaire du taux d'actualisation, scénario OK	154
Figure 5.3-6	Résultats des branches de l'option 2, pour la borne haute, basse et intermédiaire du taux d'actualisation, scénario KO	154
Figure 5.4-1	Chronique du coût brut des 6 branches de l'option 3, regroupées en 3 branches distinctes, en €$_{2019}$	158
Figure 5.4-2	Chronique du coût brut de la branche 3.1.a de l'option 3, en €$_{2019}$	158
Figure 5.4-3	Chronique du coût brut des branches 3.1.c et 3.2.a de l'option 3, en €$_{2019}$	159
Figure 5.4-4	Chronique du coût brut des branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 de l'option 3, en €$_{2019}$	159
Figure 5.4-5	Résultats des branches de l'option 3 , pour les bornes haute, intermédiaire et basse du taux d'actualisation, scénario OK	161
Figure 5.4-6	Résultats des branches de l'option 3 , pour les bornes haute, intermédiaire et basse du taux d'actualisation, scénario KO	162
Figure 5.5-1	Chronique du coût brut de l'ensemble des branches de l'option 3, jusqu'en 2110, regroupés par branche distincte, en €$_{2019}$	166

Figure 5.5-2 Chronique du coût des branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6, par type de coût 166
Figure 5.5-3 Chronique du coût de la branche 4.1.b, par type de coût 167
Figure 5.5-4 Chronique du coût des branches 4.1.c et 4.3.b, par type de coûts 167
Figure 5.5-5 Chronique du coût des branches 4.1.d et 4.2, par type de coûts 168
Figure 5.5-6 Chronique du coût de la branche 4.4, par type de coûts 168
Figure 5.5-7 Chronique du coût de la branche 4.5 par type de coût, jusqu'à 2165 169
Figure 5.5-8 Chronique du coût de la branche 4.5 par type de coût, jusqu'en 2600 169
Figure 5.5-9 Chronique du coût de la branche 4.7 par type de coût 170
Figure 5.5-10 Chronique du coût de la branche 4.8 par type de coût, jusqu'en 2165 170
Figure 5.5-11 Chronique du coût de la branche 4.8 par type de coût, jusqu'en 2600 171
Figure 5.5-12 Coût actualisé des branches de l'option 4, taux d'actualisation haut, intermédiaire et bas, scénario OK 172
Figure 5.5-13 Coût actualisé des branches de l'option 4, taux d'actualisation haut, intermédiaire et bas, scénario KO 175
Figure 5.5-14 Probabilité des branches de l'option 4 176
Figure 6.4-1 Zonage d'évacuation et de décontamination, suite à l'accident nucléaire de Fukushima 193
Figure 6.4-2 Représentation des aires des zones P1, P2 et P3, de celles de l'IRSN, de celles la préfecture de Fukushima et des zones SDA et ICSA spécifiées d'après l'accident de Fukushima 197
Figure 6.4-3 Localisation des principaux sites d'entreposage des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue en France 198
Figure 6.6-1 Coût actualisé de la branche 4.5, avec et sans prise en compte du risque d'accident, taux intermédiaire 211
Figure 6.6-2 Coût actualisé de la branche 4.8, avec et sans prise en compte du risque d'accident, taux intermédiaire 212
Figure 6.6-3 Zoom sur les branches 4.4, 4.5, 4.7, 4.8 modifiées par la prise en compte d'un accident, en scénario KO 213
Figure 6.6-4 Option 4 avec prise en compte des coûts d'un accident en scénario KO, représentation uniquement des branches optimales à chaque nœud de chance 214

Figure Annexe 15.2-1 Coût de l'option de projet 1, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario OK 299
Figure Annexe 15.2-2 Coût de l'option de projet 1, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario KO 299
Figure Annexe 15.2-3 Distribution du coût de l'option de projet 1 (Cigéo) en tenant compte des prix relatifs, issue d'une simulation de Monte-Carlo, dans le scénario OK et avant actualisation, en taux intermédiaire 300
Figure Annexe 15.2-4 Distribution du coût de l'option de projet 1 (Cigéo) en tenant compte des prix relatifs, issue d'une simulation de Monte-Carlo, dans le scénario KO et avant actualisation, en taux intermédiaire 300
Figure Annexe 15.3-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario OK 301
Figure Annexe 15.3-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario OK 302
Figure Annexe 15.3-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario OK 302

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure Annexe 15.3-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario KO 303
Figure Annexe 15.3-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario KO 304
Figure Annexe 15.3-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option de projet 1 (Cigéo), avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario KO 304
Figure Annexe 16.2-1 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo pour les branches de l'option 2 308
Figure Annexe 16.2-2 Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans l'option 2, en m^3 309
Figure Annexe 16.2-3 Chronique des coûts unitaires bruts de technologie prospective pour les déchets HA, de la branche 2.1.b, en euros$_{2019}$ 312
Figure Annexe 16.3-1 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branches 2.1.a et 2.2, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario OK 313
Figure Annexe 16.3-2 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branche 2.1.b, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario OK 313
Figure Annexe 16.3-3 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branches 2.1.a et 2.2, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario KO 314
Figure Annexe 16.3-4 Comparaison des chroniques de coûts de l'option 2, branche 2.1.b, avec prise en compte des prix relatifs (hypothèses haute, basse et intermédiaire), en scénario KO 314
Figure Annexe 16.4-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario OK 315
Figure Annexe 16.4-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario OK 316
Figure Annexe 16.4-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario OK 316
Figure Annexe 16.4-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario KO 317
Figure Annexe 16.4-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario KO 318
Figure Annexe 16.4-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 2, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario KO 318
Figure Annexe 17.2-1 Comparaison des chroniques des coûts de mise place de Cigéo dans la branche 3.1.a et dans l'option de projet 1 323
Figure Annexe 17.2-2 Chroniques des coûts de mise place de Cigéo pour la branche 3.1.a (retrait des premiers déchets HA et MA-VL de Cigéo), par type de coût 323
Figure Annexe 17.2-3 Comparaison des chroniques des coûts de mise place de Cigéo dans les branches 3.1.c et 3.2.a (déchets MA-VL uniquement dans Cigéo) et dans l'option de projet 1 324
Figure Annexe 17.2-4 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo dans les branches 3.1.c et 3.2.a (déchets MA-VL uniquement dans Cigéo), par type de coûts 324

Figure Annexe 17.2-5 Comparaison des chroniques de coûts de mise en place de Cigéo dans les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 (déchets HA et MA-VL dans Cigéo), et dans l'option de projet 1 325
Figure Annexe 17.2-6 Chronique de coûts de mise en place de Cigéo dans les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 (déchets HA et MA-VL dans Cigéo) par type de coûts 326
Figure Annexe 17.2-7 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo dans les branches de l'option 3 327
Figure Annexe 17.2-8 Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans la branche 3.1.a, en m³ 328
Figure Annexe 17.2-9 Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans les branches 3.1.c et 3.2.a, en m³ 329
Figure Annexe 17.2-10 Chronique de transport des déchets HA et MA-VL dans les branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3, en m³ 330
Figure Annexe 17.2-11 Chronique des coûts de transport des déchets HA et MA-VL pour les branches de l'option 3 330
Figure Annexe 17.2-12 Coût de la technologie prospective dans la branche 3.1.a de l'option 3 (HA et MA-VL dans la technologie prospective) 334
Figure Annexe 17.2-13 Chronique des coûts bruts de mise en place de la technologie prospective pour les branches 3.1.c et 3.2.a (HA uniquement dans le technologie prospective), par type de coûts, en €2019 335
Figure Annexe 17.3-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario OK 336
Figure Annexe 17.3-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario OK 336
Figure Annexe 17.3-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario OK 337
Figure Annexe 17.3-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne haute du taux d'actualisation, dans le scénario KO 338
Figure Annexe 17.3-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne intermédiaire du taux d'actualisation, dans le scénario KO 338
Figure Annexe 17.3-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 3, avec la borne basse du taux d'actualisation, dans le scénario KO 339
Figure Annexe 18.2-1 Comparaison des chroniques des coûts de mise en place de Cigéo en 2070 dans les branches 4.1.a, 4.3.a, 4.6 et en 2100 dans la branche 4.7 de l'option 4 353
Figure Annexe 18.2-2 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo pour les branches 4.1.c, 4.3.b et 4.4 354
Figure Annexe 18.2-3 Chronique des coûts de mise en place de Cigéo pour la branche 4.1.b 355
Figure Annexe 18.2-4 Comparaison des chroniques de transport des déchets MA-VL dans les branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.c et 4.3.b – 4.4 et 4.7, et dans l'option de projet 1, en m³ 358
Figure Annexe 18.2-5 Chronique de transport des déchets HA des branches 4.1.c et 4.3.b - 4.1.d et 4.2 - 4.4, en m³ 359
Figure Annexe 18.2-6 Chronique de transport des déchets MA-VL des branches 4.1.b - 4.1.d et 4.2, en m3 360
Figure Annexe 18.2-7 Calendrier de la mise en place de Cigéo dans l'option de projet 1 361
Figure Annexe 18.2-8 Calendrier de la mise en place de Cigéo pour les branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.b 362

Figure Annexe 18.2-9 Calendrier de la mise en place de Cigéo pour la branche 4.7 364
Figure Annexe 18.3-1 Hypothèses de probabilité d'occurrence des branches de l'option 4 369
Figure Annexe 18.3-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, dans le scénario OK 370
Figure Annexe 18.3-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, dans le scénario OK 371
Figure Annexe 18.3-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, dans le scénario OK 371
Figure Annexe 18.3-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, dans le scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident 372
Figure Annexe 18.3-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, dans le scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident 373
Figure Annexe 18.3-7 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, dans le scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident 373
Figure Annexe 18.3-8 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, dans le scénario KO avec prise en compte du risque d'accident 374
Figure Annexe 18.3-9 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, dans le scénario KO avec prise en compte du risque d'accident 375
Figure Annexe 18.3-10 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, dans le scénario KO avec prise en compte du risque d'accident 375
Figure Annexe 18.4-1 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4, avec prise en compte du risque d'accident, en borne haute, dans le scénario OK avec valeur d'option 380
Figure Annexe 18.4-2 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4, avec prise en compte du risque d'accident, en borne intermédiaire, dans le scénario OK avec valeur d'option 380
Figure Annexe 18.4-3 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4, avec prise en compte du risque d'accident, en borne basse, dans le scénario OK avec valeur d'option 381
Figure Annexe 18.4-4 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne haute, avec prise en compte du risque d'accident, dans le scénario KO avec valeur d'option 382
Figure Annexe 18.4-5 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne intermédiaire, avec prise en compte du risque d'accident, dans le scénario KO avec valeur d'option 382
Figure Annexe 18.4-6 Histogramme des résultats de la simulation de Monte-Carlo des coûts actualisés de l'option 4 en borne basse, avec prise en compte du risque d'accident, dans le scénario KO avec valeur d'option 383
Figure Annexe 19.3-1 Chronique de coûts pour un décalage de 10 ans de l'option de projet 1 386

Figure Annexe 19.3-2 Chronique de coûts pour un décalage de 20 ans de l'option de projet 1 386
Figure Annexe 19.3-1 Calcul du bénéfice assurantiel 387

Tableaux

Tableau 2.1-1 Bilan des volumes de déchets déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra à fin 2018 (Andra, 2020 (9)) 37
Tableau 2.2-1 Modalités de gestion des différentes catégories de déchets radioactifs 39
Tableau 2.5-1 Panorama international des modalités de gestion des déchets HA et MA-VL parmi 13 pays et la France 51
Tableau 3.2-1 Résumé des valeurs des bêtas socioéconomiques en scénario OK 66
Tableau 3.2-2 Résumé des valeurs des bêtas socioéconomiques en scénario KO 67
Tableau 3.3-1 Taux sans risque, dans le scénario OK 72
Tableau 3.3-2 Les taux d'actualisation en scénario OK 73
Tableau 3.3-3 Taux sans risque, dans le scénario KO 78
Tableau 3.3-4 Les taux d'actualisation du scénario KO 79
Tableau 3.3-5 Récapitulatif des taux d'actualisation utilisés dans l'évaluation socioéconomique 83
Tableau 5.1-1 Coûts unitaires de mise en place de Cigéo dans les différentes branches des options 2, 3 et 4 116
Tableau 5.1-2 Estimation du coût de recherche du site actuel de stockage géologique profond, des premières investigations à l'obtention du décret d'autorisation de création 122
Tableau 5.1-3 Estimation du coût de recherche du site de Meuse/Haute-Marne, des premières investigations à l'obtention du décret d'autorisation de création 124
Tableau 5.1-4 Extrapolation du coût de recherche d'un nouveau site pour le stockage géologique profond 126
Tableau 5.1-5 Estimation du coût du forage profond aux États-Unis d'Amérique 127
Tableau 5.1-6 Estimation du coût de forage profond en France pour tous les déchets HA 128
Tableau 5.1-7 Estimation des coûts annexes pour une technologie prospective de type forage profond 129
Tableau 5.1-8 Coût du processus de densification de l'étude CEA 131
Tableau 5.1-9 Estimation du coût de processus de densification 132
Tableau 5.1-10 État des lieux actuel des installations d'entreposage temporaire des déchets MA-VL et HA en France 135
Tableau 5.1-11 Récapitulatif des coûts unitaires 139
Tableau 5.2-1 Coût brut de l'option de projet 1, en €$_{2019}$ 142
Tableau 5.2-2 Estimation du coût de l'option de projet 1 avec prise en compte des prix relatifs et de l'aléa 145
Tableau 5.2-3 Estimation du coût de l'option de projet 1 avec prise en compte du temps long (actualisation) 147
Tableau 5.3-1 Coût brut de l'option 2, en €$_{2019}$ 149
Tableau 5.3-2 Coût des branches de l'option 2 en tenant compte des aléas sur les coûts et de l'évolution des prix relatifs, en €$_{2019}$ 153
Tableau 5.3-3 Récapitulatif du coût de l'option de projet 1 et de l'espérance de l'option 2, en fonction des taux d'actualisation et scenarii 155
Tableau 5.4-1 Coût brut de l'option 3, en €$_{2019}$ 157
Tableau 5.4-2 Coût simulé des branches de l'option 3 en tenant compte de l'aléa des coûts et de l'évolution des prix relatifs, en €$_{2019}$ 160
Tableau 5.4-3 Récapitulatif du coût de l'option de projet 1 et de l'espérance de l'option 3, en fonction des taux d'actualisation et scenarii 162
Tableau 5.5-1 Coût brut de l'option 4, en €$_{2019}$ 164
Tableau 5.5-2 Comparaison des coûts de l'option de projet 1 et de l'option 4, en scénario OK 177
Tableau 5.5-3 Comparaison des coûts de l'option de projet 1 et de l'option 4, en scénario KO (uniquement sur les coûts) 177

Tableau 5.6-1 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne haute du taux d'actualisation 178
Tableau 5.6-2 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, valeur intermédiaire du taux d'actualisation 178
Tableau 5.6-3 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne basse du taux d'actualisation 179
Tableau 5.6-4 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario KO, borne haute du taux d'actualisation 179
Tableau 5.6-5 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario KO, borne intermédiaire du taux d'actualisation 180
Tableau 5.6-6 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario KO, borne basse du taux d'actualisation 180
Tableau 6.3-1 Probabilité d'incendie en entreposage, dans les différentes options en scénario KO 189
Tableau 6.4-1 Rayon (en km) des périmètres des actions d'urgence et actions post-accidentelles, source IRSN 196
Tableau 6.4-2 Récapitulatif des surfaces pour lesquelles des conséquences radiologiques sont chiffrées, autour du site de Marcoule, en cas d'incendie de l'entrepôt 199
Tableau 6.4-3 Population concernée par les périmètres P1, P2 et P3 autour du site de Marcoule 199
Tableau 6.4-4 Récapitulatif des surfaces pour lesquelles des conséquences radiologiques sont chiffrées, autour du site de La Hague, en cas d'incendie de l'entrepôt 200
Tableau 6.4-5 Population concernée par les périmètres P1, P2 et P3 autour du site de la Hague 200
Tableau 6.5-1 La classification des déchets radioactifs en France sur le critère d'activité massique 204
Tableau 6.5-2 Volumes de déchets produits par l'accident de Fukushima, sur le périmètre SDA et ICSA inclus dans la préfecture de Fukushima, selon leur niveau de radioactivité exprimé en classification française 204
Tableau 6.5-3 Volumes de déchets produits par l'accident de Fukushima, sur le périmètre à l'extérieur de la préfecture de Fukushima, selon leur niveau de radioactivité exprimé en classification française 205
Tableau 6.5-4 Synthèse des données de coûts utilisées dans l'estimation des dommages 208
Tableau 6.5-5 Coût estimé d'un accident fictif sur le site d'entreposage de Marcoule 208
Tableau 6.5-6 Coût estimé d'un accident fictif sur le site d'entreposage de la Hague 209
Tableau 6.6-1 Coût actualisé d'un incendie en entreposage 210
Tableau 6.6-2 Coût actualisé de la branche 4.4, avec et sans accident 210
Tableau 6.6-3 Coût actualisé de la branche 4.7, avec et sans accident 210
Tableau 6.6-4 Coût actualisé de la branche 4.5, avec et sans accident 211
Tableau 6.6-5 Coût actualisé de la branche 4.8, avec et sans accident 212
Tableau 6.6-6 Récapitulatif des différences de coûts (y compris accident) entre les options de projet 1 et 4, avec un taux d'actualisation élevé, en scénario KO 216
Tableau 6.6-7 Récapitulatif des différences de coûts (y compris accident) entre les options de projet 1 et 4, avec un taux d'actualisation intermédiaire, en scénario KO 216
Tableau 6.6-8 Récapitulatif des différences de coûts (y compris accident) entre les options de projet 1 et 4, avec un taux d'actualisation bas, en scénario KO 216
Tableau 6.6-1 Les valeurs de taux d'actualisation appliquées dans les deux scenarii 223

Tableau 7.1-1 Synthèse des résultats par scénario et taux d'actualisation, avec probabilité d'occurrence sur 10 000 tirages 224
Tableau 7.1-2 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne basse du taux d'actualisation 225
Tableau 7.1-3 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, taux d'actualisation intermédiaire 226
Tableau 7.1-4 Récapitulatif des coûts des différentes options, dans un scénario OK, borne haute du taux d'actualisation 226
Tableau 7.1-5 Option 4 sans et avec valeurs d'options en scénario OK et comparaison avec l'option de projet 1 227
Tableau 7.1-6 Récapitulatif des coûts des options de projet, dans un scénario KO, borne basse du taux d'actualisation 229
Tableau 7.1-7 Récapitulatif des coûts des options de projet, dans un scénario KO, taux d'actualisation intermédiaire 229
Tableau 7.1-8 Récapitulatif des coûts des options de projet, en scénario KO, taux d'actualisation haut 230
Tableau 7.1-9 Option 4 sans et avec valeurs d'options dans un scénario KO et comparaison avec l'option de projet 1 231
Tableau 7.2-1 Estimation du bénéfice assurantiel du centre de stockage Cigéo, en fonction de la probabilité de tomber dans un scénario KO 236

Tableau Annexe 6.3-1 Installations de stockage pour les déchets de faible activité et transuraniens (respectivement LLW et TRU) 264
Tableau Annexe 9.3-1 Lieux d'entreposage des déchets radioactifs 275
Tableau Annexe 12.4-1 Coûts de gestion des déchets radioactifs et du démantèlement des réacteurs nucléaires en Suède 287
Tableau Annexe 14.1-1 Taux d'actualisation r = γμ, Gollier (2016 (55)) 293
Tableau Annexe 14.1-2 Taux d'actualisation $r = \gamma\mu - effet\ précaution$, Gollier (2016 (55)) 294
Tableau Annexe 15.1-1 Solutions de gestion de l'option de projet 1 298
Tableau Annexe 15.1-2 Hypothèses de l'option de projet 1 298
Tableau Annexe 15.3-1 Résultats actualisés de l'option de projet 1 en scénario OK 301
Tableau Annexe 15.3-2 Résultats actualisés de l'option de projet 1 en scénario KO 303
Tableau Annexe 16.1-1 Solutions de gestion de l'option 2 305
Tableau Annexe 16.1-2 Hypothèses de l'option 2 - Branches 2.1.a et 2.2 305
Tableau Annexe 16.1-3 Hypothèses de l'option 2 - Branche 2.1.b 306
Tableau Annexe 16.2-1 Coût brut de mise en place de Cigéo dans l'option 2, en M€$_{2019}$ 308
Tableau Annexe 16.2-2 Coût brut de transport dans l'option 2, en millions d'euros$_{2019}$ 310
Tableau Annexe 16.2-3 Surcoût brut d'entreposage des déchets HA dans l'option 2 relativement celui de l'option de projet 1, en millions d'euros$_{2019}$ 310
Tableau Annexe 16.2-4 Coût brut de recherche de site dans l'option 2, en millions d'euros$_{2019}$ 311
Tableau Annexe 16.2-5 Coût brut de la technologie prospective dans l'option 2, en millions d'euros$_{2019}$ 312
Tableau Annexe 16.4-1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK 315
Tableau Annexe 16.4-2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO 317
Tableau Annexe 17.1-1 Solutions de gestion de l'option 3 319
Tableau Annexe 17.1-2 Hypothèses de l'option 3 - Branche 3.1.a 319
Tableau Annexe 17.1-3 Hypothèses de l'option 3 - Branches 3.1.b, 3.2.b et 3.3 320
Tableau Annexe 17.1-4 Hypothèses de l'option 3 - Branches 3.1.c et 3.2.a 321
Tableau Annexe 17.2-1 Coût brut de mise en place de Cigéo dans l'option 3, en millions d'euros$_{2019}$ 327
Tableau Annexe 17.2-2 Coût brut de transport dans l'option 3, en millions d'euros$_{2019}$ 331
Tableau Annexe 17.2-3 Coût brut d'entreposage de l'option 3, en millions d'euros$_{2019}$ 332
Tableau Annexe 17.2-4 Coût brut de densification et mise en forage profond des déchets MA-VL dans la branche 3.1.a 333

Tableau Annexe 17.2-5 Coût brut de la technologie prospective pour les déchets HA dans les branches 3.1.c et 3.2.a, en millions d'euros$_{2019}$ 335
Tableau Annexe 17.3-1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK 335
Tableau Annexe 17.3-2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO 337
Tableau Annexe 18.1-1 Solutions de gestion de l'option 4 340
Tableau Annexe 18.1-2 Hypothèses de l'option 4 - Branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 340
Tableau Annexe 18.1-3 Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.1.b 341
Tableau Annexe 18.1-4 Hypothèses de l'option 4 - Branches 4.1.c et 4.3.b 342
Tableau Annexe 18.1-5 Hypothèses de l'option 4 - Branches 4.1.d et 4.2 343
Tableau Annexe 18.1-6 Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.4 344
Tableau Annexe 18.1-7 Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.5 346
Tableau Annexe 18.1-8 Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.7 347
Tableau Annexe 18.1-9 Hypothèses de l'option 4 - Branche 4.8 348
Tableau Annexe 18.2-1 Coût brut de recherche de site dans l'option 4 351
Tableau Annexe 18.2-2 Coût brut d'une technologie prospective pour les déchets MA-VL uniquement 357
Tableau Annexe 18.2-3 Coût brut de transport dans l'option 4 360
Tableau Annexe 18.2-4 Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par stockage géologique profond (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.b), en millions d'euros$_{2019}$ 362
Tableau Annexe 18.2-5 Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par stockage géologique profond (branches 4.1.a, 4.3.a et 4.6 - 4.1.c et 4.3.b), en millions d'euros$_{2019}$ 363
Tableau Annexe 18.2-6 Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par stockage géologique profond sur nouveau site (dans la branche 4.7), en millions d'euros$_{2019}$ 364
Tableau Annexe 18.2-7 Coût d'entreposage des déchets MA-VL gérés par stockage géologique profond sur nouveau site (dans les branches 4.4 et 4.7), en millions d'euros$_{2019}$ 365
Tableau Annexe 18.2-8 Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par technologie prospective (dans les branches 4.1.b - 4.1.d et 4.2) en millions d'euros$_{2019}$ 366
Tableau Annexe 18.2-9 Coût brut d'entreposage des déchets MA-VL gérés par entreposage de longue durée renouvelé (dans les branches 4.5 et 4.8), en millions d'euros$_{2019}$ 366
Tableau Annexe 18.2-10 Coût brut d'entreposage des déchets HA gérés par entreposage de longue durée renouvelé (dans la branche 4.8), en millions d'euros$_{2019}$ 367
Tableau Annexe 18.2-11 Coût d'entreposage des branches de l'option 4 367
Tableau Annexe 18.3-1 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK 370
Tableau Annexe 18.3-2 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, sans prise en compte du risque d'accident 372
Tableau Annexe 18.3-3 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, avec prise en compte du risque d'accident 374
Tableau Annexe 18.4-1 Exemples de valeurs de tirages 376
Tableau Annexe 18.4-2 Règle de décision à chaque nœud de décision avec valeur d'option 378
Tableau Annexe 18.4-3 Probabilité à chaque nœud de décision 379
Tableau Annexe 18.4-4 Approche probabiliste avec actualisation, scénario OK, avec valeur d'option 379
Tableau Annexe 18.4-5 Approche probabiliste avec actualisation, scénario KO, avec valeur d'option 381
Tableau Annexe 19.2-1 Coût brut de l'option de projet 1 et de ses variantes : décalage de 10 ans et de 20 ans 385

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Code de l'environnement. Partie législative. Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances. Titre IV : Déchets. Chapitre II : Dispositions particulières à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (Article L542-1) (2016). Code de l'environnement.

2 Loi n°2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (2016). Journal officiel de la République française.

3 Les déchets radioactifs et les sites et sols pollués : chapitre 14 du rapport de l'ASN sur létat de la sûreté nucléaire et de l a radioprotection en France en 2019. Autorité de sûreté nucléaire (2020). Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/170685/1752050/version/2/file/Chapitre%2014%20-%20Les%20d%C3%A9chets%20radioactifs%20et%20les%20sites%20et%20sols%20pollu%C3%A9s.pdf.

4 Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (2006). Journal officiel de la République française, N°93, pp.9721.

5 Décret n°2013-1211 du 23 décembre 2013 relatif à la procédure d'évaluation des investissements publics en application de l'article 17 de la loi n° 2012-1558 du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012 à 2017 (2013).

6 Arrêté du 15 janvier 2016 relatif au coût objectif afférent à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2016). Journal officiel de la République française, N°DEVR1601524A.

7 Nuclear Power in a Clean Energy System. IEA (2019). Disponible à l'adresse : https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system.

8 Les déchets radioactifs : classification. Andra (2020). Consulté le 02/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/tout-comprendre-sur-la-radioactivite/classification.

9 Inventaire national des matières et déchets radioactifs. Les essentiels 2020. Andra (2020). Disponible à l'adresse : https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/andra-maj_essentiels_2020-web.pdf.

10 Rapport d'évaluation n°8. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2014). Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/RAPPORT_CNE2_8_062014.pdf.

11 Évaluation socioéconomique des investissements publics - Rapport de la mission présidée par Emile Quinet. Commissariat général à la stratégie et à la prospective (2013). Disponible à l'adresse : https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/archives/CGSP_Evaluation_socioeconomique_17092013.pdf.

12 Zweifel, P.; Schneider, Y.; Wyss, C. Spatial Effects in Willingness-to-Pay: The Case of Nuclear Risks. University of Zurich (2005), Socioeconomic Institute.

13 Coût économique des accidents nucléaires. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2013). Consulté le 31/10/2019. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/cout-economique-accident/Pages/sommaire.aspx#.XbrkVuhA6Uk.

14 Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er février 2006, sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL), menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV. Autorité de sûreté nucléaire (2015).

15 Munro, A. Notes on the economic valuation of nuclear disasters. National graduate institute for policies studies (2011). 30 p. Disponible à l'adresse : http://www3.grips.ac.jp/~munro/notes%20nuclear%20valuation%20a.pdf.

16 Weitzman, M.L. Gamma Discounting. American Economic Review (2001). Vol 91, N°1, pp.260-71.

17 Stern, N.H. The economics of climate change: The Stern review. Cambridge University Press (2007). ISBN : 978-0521700801.

18 Nordhaus, W. A question of balance: Weighing the options on global warming policies. Yale University Press (2008). ISBN : 9780300209396.

19 The worst except for all the others. The Economist (2018). Consulté le 03/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.economist.com/graphic-detail/2018/12/15/gdp-predictions-are-reliable-only-in-the-short-term.

20 Décret n°2001-1053 du 5 novembre 2001 portant publication de la convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, faite à Vienne le 5 septembre 1997 (avec convention en annexe). Journal officiel de la République française (2001).

21 Directive n°2011/70/EURATOM du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs. Conseil de l'Union Européenne (2011). Journal officiel de l'Union européenne, N°L199, pp.48-56.

22 Loi n°91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (1992). Journal officiel de la République française, N°1.

23 Code de l'environnement Partie législative Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances. Titre IV : Déchets. Chapitre II : Dispositions particulières à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (Article L.542-12) (2016). Code de l'environnement.

24 Barthe, Y. Le pouvoir d'indécision : La mise en politique des déchets nucléaires. Economica (2006). Etudes politiques. ISBN : 2717851399.

25 Loi n°2006-686 du 13 juin 2006 modifiée relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Version consolidée au 12 juillet 2014 (2006).

26 L'ASN. Autorité de sûreté nucléaire (2020). Consulté le 03/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/L-ASN.

27 Rieu, J., Niel, J.-C., Bodenez, P. Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (2008). 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/guide_RFSIII_2_fV1_2_.

28 L'ASN estime que les options de sûreté de Cigéo constituent une avancée significative. Autorité de sûreté nucléaire (2018). Consulté le 02/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Avis-de-l-ASN-sur-les-options-de-surete-de-Cigeo.

29 La CNE2 en quelques mots. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2010). Consulté le 03/06/2020. Disponible à l'adresse : http://www.cne2.fr/.

30 Revue internationale par les pairs sur le "Dossier d'options de sûreté" du projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde : CIGEO - Rapport de la revue par les pairs. AIEA (2016). Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-Publications/Rapport-de-la-revue-par-les-pairs-CIGEO-dec-2016?

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

31 Décret du 3 août 1999 autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs à installer et exploiter sur le territoire de la commune de Bure (Meuse) un laboratoire souterrain destiné à étudier les formations géologiques profondes où pourraient être stockés des déchets radioactifs (1999). Journal officiel de la République française, N°180, pp.11925.

32 Proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo. Version 1 pour consultation. Andra (2016). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SDR-0000-15-0063. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-08/proposition%20PDE%20avril%202016.pdf.

33 Dossier d'options de sûreté - Partie exploitation (DOS-Expl). Andra (2016). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1-0000-15-0060. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-exploitation.pdf.

34 Dossier d'options de sûreté - partie après fermeture (DOS-AF). Andra (2016). G-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-15-0062/A. 467 p. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-apres-fermeture_0.pdf.

35 Dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOARV000000150059. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-11/CG-TE-D-NTE-AMOA-RV0-0000-15-0059-A%20DOREC.pdf.

36 The Disposal of Radioactive Waste on Land. National Academies Press (1957). ISBN : 978-0-309-58067-0.

37 Deep geological disposal. IAEA (2009). Consulté le 03/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/newscenter/multimedia/podcasts/deep-geological-disposal.

38 Panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue - Rapport établi en réponse à une saisine de la Commission nationale du débat public. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2019). IRSN/2019-00318. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-2019-00318_Alternatives-Stockage-Geologique-Dechets-HAMAVL.pdf.

39 Geological disposal. Review of alternative radioactive waste management options. Radioactive waste management (2017). NDA/RWM/146. 95 p. Disponible à l'adresse : https://rwm.nda.gov.uk/publication/geological-disposal-review-of-alternative-radioactive-waste-management-options/?download.

40 L'Andra fait l'inventaire des déchets radioactifs. Société Française d'Énergie Nucléaire (2018). Consulté le 03/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.sfen.org/rgn/andra-inventaire-dechets-radioactifs.

41 Maddison Project Database 2018. University of Groningen (2018). Consulté le 03/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-project-database-2018.

42 States of fragility 2016. Understanding violence. OCDE (2016).

43 Olson, M. Dictatorship, Democracy, and Development. The American Political Science Review (1993). Vol 87, N°3, pp.567-76.

44 Barro, R. Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study. National Bureau of Economic Research (1996).

45 Acemoglu, D., Johnson, S., Robinson, J.-A. The colonial origins of comparative development: an empirical investigation. The American economic review (2001). Vol 91, N°5, pp.1369-401.

46 Haggard, S., Tiede, L. The Rule of Law and Economic Growth: Where are We? World development (2011). Vol 39, N°5, pp.673-85.

47 Acemoglu, D., Johnson, S. Unbundling Institutions. Journal of political economy (2005). Vol 113, N°5.

48 Acemoglu, D., Robinson, J.-A. Why nations fail. The origins of power, prosperity, and poverty. Crown publishers (2012).

49 Acemoglu, D., Robinson, J.-A., Santos, R.-J. The Monopoly of violence: evidence from Colombia. Journal of the European Economic Association (2013). Vol 11, pp.5-44.

50 Huntington, S.P. Political order in changing societies. Yale University (1968). ISBN : 0-300-00584-9.

51 Mazzuca, S., Munck, G. State or democracy first? Alternative perspectives on the state-democracy nexus. Democratization (2014). Vol 21, N°7, pp.1221-43.

52 Carothers, T. The sequencing fallacy. Journal of democracy (2007). Vol 18, N°1, pp.12-27.

53 Deacon, R. Dictatorship, democracy and the provision of public goods (2003). University of California at Santa Barbara, Economics Working Paper Series qt9h54w76c.

54 Baumstark, L., Hirtzman, P., Lebegue, D. Révision du taux d'actualisation des investissements publics : rapport du groupe d'experts présidé par Daniel Lebègue. Commissariat général au plan (2005). 112 p. Disponible à l'adresse : http://metroauxrigollots.fr/archives/pdf/SW54/Rapport_Lebegue_Revision_Taux_Actualisation_Investissements_Publics.pdf.

55 Gollier, C. Valorisation des investissements ultra-longs et développement durable. L'Actualité économique (2016). Vol 92, N°4, pp.667-701.

56 Centre d'analyse stratégique. Le calcul du risque dans les investissements publics. Rapport de la mission présidée par Christian Gollier. La Documentation Française (2011). Rapports et documents. Vol 36. ISBN : 978-2-11-008737-9.

57 Arrow, K.J., Cropper, M.L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G.M., Newell, R.G., Nordhaus, W., Pindyck, R.S., Pizer, W.A., Portney, P.R., Sterner, T., Tol, R.S.J., Weitzman, M.L. Should Governments Use a Declining Discount Rate in Project Analysis? Review of Environmental Economics and Policy (2014). Vol 8, N°2, pp.145-63.

58 Hurst, M. The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation. OGL Press (2018). ISBN : 978-1-912225-57-6.

59 A social time preference for use in long-term discounting. OXERA Consulting Ltd (2002). 80 p. Disponible à l'adresse : https://www.oxera.com/wp-content/uploads/2018/03/Social-time-preference-rate-for-use-in-long-term-discounting.pdf.

60 Christensen, P., Gillingham, K., Nordhaus, W. Uncertainty in forecasts of long-run economic growth. Proceedings of the National Academy of Sciences (2018). Vol 115, N°21, pp.5409-14.

61 Décision consécutive au débat public dans le cadre de la préparation de la cinquième édition du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ministère de la transition écologique et solidaire; Autorité de sûreté nucléaire (2020).

62 Séparation-transmutation des éléments radioactifs à vie longue - Loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs : bilan des recherches conduites sur la séparation-transmutation des éléments radioactifs à vie longue et sur le développement de réacteurs nucléaires de nouvelle génération. CEA (2012). 88 p. Disponible à l'adresse : http://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/rapports/rapport-gestion-durable-matieres-nucleaires/Tome%202.pdf.

63 La séparation/transmutation des déchets à vie longue. Thème 1 - La place de Cigéo dans le dispositif de gestion des déchets. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2013). FS 1-4. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/dechets/cigeo/Documents/Fiches-thematiques/IRSN_Debat-Public-Cigeo_Fiche-Transmutation.pdf.

64 Deep Borehole Disposal Research: Demonstration Site Selection Guidelines, Borehole Seals Design, and R&D Needs. Fuel Cycle Research & Developement. Sandia National Laboratories (2013). SAND2013-9490P. 221 p. Disponible à l'adresse : https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/12/f5/DeepBorehDisposalRDDemoSiteGuideDesignSealsNeeds.pdf.

65 Allen Bates, E. Optimization of deep boreholes for disposal of high-level nuclear waste (2015). Massachusetts Institute of Technology (MIT). Phd Thesis in nuclear science and engineering. 281 p.

66 Évaluation des coûts afférents à la mise en oeuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue - Proposition de l'Andra Tome 1 Chiffrage de Cigéo en phase esquisse : synthèse. Andra (2014). Document N°CG.TE.F.NTE.AMOA.EEE.0000.14.0107/A. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/cout-cigeo-t1.pdf.

67 Évaluation des coûts afférents à la mise en oeuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue - Proposition de l'Andra Tome 2 Chiffrage de Cigéo en phase esquisse : estimation du coût de base de l'exploitation. Andra (2014). Document N°CG.TE.F.NTE.AMOA.EEE.0000.14.0068/B. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/cout-cigeo-t2.pdf.

68 Toutes nos publications. Andra (2020). Consulté le 22/07/2020. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/publications?f%5B0%5D=facet_doc_cat%3A224.

69 Documents téléchargeables. Objectif Meuse (2020). Consulté le 23/07/2020. Disponible à l'adresse : https://www.objectifmeuse.org/documents-telechargeables/.

70 Documents. GIP Haute-Marne (23/07/2020). Consulté le 23/07/2020. Disponible à l'adresse : https://www.gip-haute-marne.fr/documents.html.

71 Présentation du "Cycle du combustible" français en 2018. Haut Comité sur la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) (2018). Disponible à l'adresse : http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/HCTISN_rapport_cycle_2018_cle0af1f2.pdf.

72 Évaluation technico-économique d'un procédé de traitement d'enrobés de boues bitumées par incinération/vitrification (Rapport PNGMDR 2013-2015). CEA (2015). Disponible à l'adresse : https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiP8vja2K_lAhWDyoUKHSNKDCgQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.asn.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F96859%2F697779%2Fversion%2F1%2Ffile%2FEvaluation%2520technico-%25C3%25A9conomique%2520traitement%2520boues%2520bitum%25C3%25A9es.pdf&usg=AOvVaw2JjzNo_g_B0A2SugkSzMD3.

73 Liste des installations nucléaires de base au 31 décembre 2016 - Annexe au rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2016. Autorité de sûreté nucléaire (2017). Disponible à l'adresse : https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiYv5Tpl_XpAhUO0uAKHetJDnIQFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.asn.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F111682%2F939344%2Fversion%2F1%2Ffile%2FAnnexe%2520-%2520Liste%2520des%2520installations%2520nucl%25C3%25A9aire%2520de%2520base%2520au%252031%2520d%25C3%25A9cembre%25202016.pdf&usg=AOvVaw2ywgipvWWyZ8gB6IrE1ShO.

74 Entreposage du combustible nucléaire usé : concepts et enjeux de sûreté. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2018). Rapport IRSN n°2018-00003. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-2018-00003_Entreposage-du-combustible-nucleaire-use.pdf.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

75 Bilan des études et recherches sur l'entreposage - Déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Andra (2013). Document N°CRPADPG130001.

76 Forbes, P. Les entreposages de colis de déchets HA-MAVL - Etat des lieux des capacités actuelles et futures (à 2040). New AREVA (2017). Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2016-2018/Les-entreposages-de-colis-de-dechets-HA-MAVL-Etat-des-lieux-des-capacites-actuelles-et-futures-Areva?

77 Les difficultés techniques sur l'EPR "sont liées à la perte d'expérience" (Pierre-Franck Chevet, ASN). La Tribune (2018).

78 Courrier à la Directrice de l'Energie sur la consultation formelle sur le dossier de chiffrage du stockage des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue en application de l'article L542-12 du code de l'environnement. EDF; AREVA; CEA (2015).

79 Baromètre 2020 : La perception des risques et de la sécurité par les français : l'analyse. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2020). Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/IRSN/Publications/barometre/Documents/IRSN_Barometre_2020-analyse.pdf.

80 About the ADR: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par la route. UNECE (2020). Consulté le 11/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.unece.org/fr/trans/danger/publi/adr/adr_f.html.

81 Projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse / Haute-Marne (Cigéo), du 15 mai au 15 décembre 2013. Compte-rendu établi par le président de la commission particulière du débat public. Commission Nationale du Débat Public (CNDP) (2014). 100 p. Disponible à l'adresse : https://www.debatpublic.fr/file/532/download?token=bgCg46rH.

82 The Fukushima Daiichi Accident - Technical volume 5/5 Post-accident recovery. AIEA (2015). Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV5-Web.pdf.

83 Environmental remediation in Japan. Ministry of the Environment Japan (2018). Disponible à l'adresse : http://josen.env.go.jp/en/pdf/progressseet_progress_on_cleanup_efforts.pdf.

84 Méthodologie appliquée par l'IRSN pour l'estimation des coûts d'accidents nucléaires en France. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2013). PRP-CRI/SESUC/2013-00261. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN-PRP-CRI-SESUC-2013-00261_methodologie-cout-accident.pdf.

85 Accident de la centrale nucléaire Fukushima Dai-Ichi - Décontamination et gestion des déchets - Point de situation en mars 2015. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2015). Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2015/Documents/IRSN_Fukushima_decontamination-gestion-dechets_201503.pdf.

86 Le coût économique pour deux scénarios d'accident. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2020). Consulté le 11/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/cout-economique-accident/Pages/2-cout-economique-pour-2-scenarios.aspx?dId=b5e6d248-170f-4f79-a514-8fb9cb86a6d5&dwId=0dd84144-5e15-4e92-b9ef-be117439b36b#.XuHk1UUzbIV.

87 PNGMDR 2013-2015 Schéma industriel pour la gestion de déchets TFA. Andra (2015). Document N°PI NT ADI 150006. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2017-12/pintadi150006.pdf.

88 Classification des déchets radioactifs. Andra (2020). Consulté le 11/06/2020. Disponible à l'adresse : https://inventaire.andra.fr/les-matieres-et-dechets-radioactifs/classification-des-dechets-radioactifs-et-filieres-de-gestion.

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

89 Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation. World Health Organization (2013). 172 p. Disponible à l'adresse : https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78218/9789241505130_eng.pdf;jsessionid=B94B0ABAD3F7D05A6C5DF44EF729BF24?sequence=1.

90 Arrow, K.J., Lind, R. Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions. The American economic review (1970). Vol 60, N°3, pp.364-78.

91 Baumstark, L., Gollier, C. The relevance and the limits of the Arrow-Lind Theorem. Journal of Natural Resources Policy Research (2014). Vol 6, N°1, pp.45-9.

92 Bommier, A., Zuber, S. Can preferences for catastrophe avoidance reconcile social discounting with intergenerational equity? Social Choice and Welfare (2008). Vol 31, N°3, pp.415-34.

93 Rheinberger, C.M., Treich, N. Attitudes Toward Catastrophe. Environmental and Resource Economics (2017). Vol 67, N°3, pp.609-36.

94 Itaoka, K., Saito, A., Krupnick, A., Adamowicz, W., Taniguchi, T. The Effect of Risk Characteristics on the Willingness to Pay for Mortality Risk Reductions from Electric Power Generation. Environmental and Resource Economics (2006). Vol 33, N°3, pp.371-98.

95 Sun, C., Zhu, X. Evaluating the public perceptions of nuclear power in China: Evidence from a contingent valuation survey. Energy Policy (2014). Vol 69, pp.397-405.

96 Slovic, P. Perception of risk. Science (1987). Vol 236, N°4799, pp.280-5.

97 Slovic, P., Flynn, J.H., Layman, M. Perceived Risk, Trust, and the Politics of Nuclear Waste. Science (1991). Vol 254, N°5038, pp.1603-7.

98 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Allemagne. AEN; OCDE (2011). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/allemagne.pdf.

99 Nuclear power in Germany. World nuclear association (2019). Consulté le 18/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/germany.aspx.

100 Repository site selection Act - StandAG (2017). Federal law gazette, pp.2553.

101 Bracke, G., Charlier, F., Liebscher, A., Schilling, F., Röckel, T. About the Possibility of Disposal of HLRW in Deep Boreholes in Germany. Geosciences (2017). Vol 7, N°3, pp.58.

102 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Belgique. OCDE; AEN (2003). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/belgique.pdf.

103 Sixth meeting of the contracting parties to the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management : national report. Kingdom of Belgium (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/joint-convention-rapport-be-2017-final-noannex.pdf.

104 Loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980 (1980). JUSTEL, N°1980080802.

105 Loi du 13 février 2006 relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement et à la participation du public dans l'élaboration des plans et des programmes relatifs à l'environnement (2006). Moniteur belge, N°2006-958, pp.14491.

106 Loi du 3 juin 2014 modifiant l'article 179 de la loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980 en vue de la transposition dans le droit interne de la Directive 2011/70/Euratom (2014). Moniteur belge.

107 Loi du 11 avril 2003 sur les provisions constituées pour le démantèlement des centrales nucléaires et pour la gestion des matières fissiles irradiées des centrales (2003). Moniteur belge.

108 Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter (London Convention) (1972). Convention de Londres.

109 Programme national de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs : document établi par le Comité du programme national en application de la loi du 3 juin 2014. Royaume de Belgique (2015). Disponible à l'adresse : https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/Programme-national-cpnpc.pdf.

110 Stockage géologique des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie. ONDRAF (2018). Consulté le 22/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.ondraf.be/stockage-g%C3%A9ologique-des-d%C3%A9chets-de-haute-activit%C3%A9-etou-de-longue-dur%C3%A9e-de-vie-0.

111 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Canada. OCDE; AEN (2008). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/canada.pdf.

112 Canadian national report for the joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management: sixth report October 2017. Canadian nuclear safety commission; Canada's nuclear regulator (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/6rm-canada.pdf.

113 Surveillance du cadre canadien pour la gestion des déchets radioactifs. Gouvernement du Canada (2018). Consulté le 23/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.cnsc-ccsn.gc.ca/fra/resources/fact-sheets/oversight-canada-framework-radioactive-waste-management.cfm.

114 Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires. Gouvernement du Canada (2020).

115 Loi sur les déchets de combustible nucléaire. Gouvernement du Canada (2020).

116 Financement du plan canadien de gestion à long terme sûre du combustible nucléaire irradié. Nuclear Waste Management Organiszation (NWMO) (2020). Disponible à l'adresse : https://www.nwmo.ca/~/media/Site/Files/PDFs/2020/03/09/18/27/Backgrounder-2020--Funding-Canadas-plan-for-the-safe-longterm-management-of-used-nuclear-fuel.ashx?la=fr.

117 The People's Republic of China Fourth National Report for the Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radiactive waste management prepared for the Sixth review Meeting (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_china_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf.

118 China's nuclear fuel cycle. World nuclear association (2019). Consulté le 23/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle.aspx.

119 Regulations of the People's Republic of China on Safety Control of Civilian Nuclear Installations. People's Republic of China (2007), pp.http://www.fdi.gov.cn/1800000121_39_3529_0_7.html.

120 The Act of the People's Republic of China on Prevention and Control of Radioactive Pollution. People's Republic of China (2003).

121 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Espagne. OCDE; AEN (2010). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/espagne.pdf.

122 Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management: Sixth Spanish national report October 2017 (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_spain_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf.

123 Radioactive waste management and decommissioning in Spain. OCDE (2018). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/Spain_report.pdf.

124 Nuclear power in the USA. World nuclear association (2020). Consulté le 21/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/usa-nuclear-power.aspx.

125 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : États-Unis. OCDE; AEN (2008). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/etats-unis.pdf.

126 U.S. Sixth national report for the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management. U.S. Department of Energy (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/10-20-176thusnationalreportfinal.pdf.

127 Nuclear waste policy act as amended with appropriations acts appended. U.S. Department of Energy (2004). Disponible à l'adresse : https://www.energy.gov/sites/prod/files/edg/media/nwpa_2004.pdf.

128 NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations. United Sates Nuclear regulatory commission (2020). Consulté le 22/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/.

129 Heard, R. G. DSRS Disposal - Current Practices and Issues in Member States (11-15 octobre 2010). International Workshop on "Sustainable Management of Disused Sealed Radioactive Sources".

130 Report to the Secretary of Energy. Blue Ribbon Commission on America's nuclear future (2012). Disponible à l'adresse : https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc_finalreport_jan2012.pdf.

131 Strategy for the management and disposal of used nuclear fuel and high-level radioactive waste. U.S. Department of Energy (2013). Disponible à l'adresse : https://www.energy.gov/sites/prod/files/Strategy%20for%20the%20Management%20and%20Disposal%20of%20Used%20Nuclear%20Fuel%20and%20High%20Level%20Radioactive%20Waste.pdf.

132 Guidelines and discount rates for benefit-cost analysis of federal programs - Circular A-94 (2009).

133 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Finlande. OCDE; AEN (2008). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/finlande.pdf.

134 Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management: 6th Finnish National Report as referred to in Article 2 of the Convention. STUK (2017). STUK-B 218. Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_finland_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf.

135 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Japon. OCDE; AEN (2017). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/japon.pdf.

136 National report of Japan for the Sixth review meeting: joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_japan_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf.

137 Atomic energy basic Act (1955), N°186.

138 Act on the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors (1957), N°166.

139 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Pays-bas. OCDE; AEN (2010). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/pays-bas.pdf.

140 Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management : national report of the Kingdom of the Netherlands for the Sixth review meeting. Ministry of Infrastructure and the environment (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_netherlands_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf.

141 Nuclear power in the Netherlands. World nuclear association (2019). Consulté le 22/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/netherlands.aspx.

142 Nuclear power in the United Kingdom. World nuclear association (2020). Consulté le 22/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/united-kingdom.aspx.

143 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Royaume-Uni. OCDE; AEN (2003). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/royaume-uni.pdf.

144 The United Kingdom's Sixth national report on compliance with the obligations of the Joint convention on the safety of spent fuel and radioactive waste management. Department for business, energy & industrial strategy (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_united_kingdom_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf.

145 Radiation protection 122 - Practical use of the concepts of clearance and exemption - Part 1 Guidance on general clearance levels for practices: Recommendations of the group of experts established under the terms of Article 31 of the Euratom Treaty. Europan Commission (2000). Disponible à l'adresse : https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/122_part1.pdf.

146 Loi fédérale n°170 du 21 novembre 1995 sur l'utilisation de l'énergie atomique. Fédération de Russie (1995).

147 The fifth national report of the Russian Federation on compliance with the obligations of the joint convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management. State atomic energy corporation Rosatom (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/russian-federation-eng-jc.pdf.

148 Russia's nuclear fuel cycle. World nuclear association (2020). Consulté le 23/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-fuel-cycle.aspx.

149 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Suède. OCDE; AEN (2011). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/suede.pdf.

150 Sweden's sixth national report under the Joint convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management. Ministry of the Environment Sweden (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/sweden-nr-6th-rm-jc.pdf.

151 The Act on Nuclear Activities (1984).

Évaluation socioéconomique du projet global Cigéo - Solution de référence de stockage géologique profond retenue pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

152 Plan 2016 : Costs from and including 2018 for the radioactive residual products from nuclear power - Basis for fees and guarantees for the period 2018-2020. SKB (2017). TR-17-02. Disponible à l'adresse : https://www.skb.se/publikation/2487964/TR-17-02.pdf.

153 Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires : Suisse. OCDE; AEN (2003). Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/suisse.pdf.

154 Implementation of the obligations of the Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management : 6th national report of Switzerland in accordance with article 32 of the convention. Confédération Suisse (2017). Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_switzerland_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf.

155 Loi sur l'énergie nucléaire (LENu) du 21 mars 2003. Assemblée fédérale de la Confédération suisse (2003). RS, N°732.1.

156 Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu) du 10 décembre 2004 (Etat le 1er février 2019). Conseil fédéral suisse (2004). RS, N°732.11.

157 Dietz, S., Gollier, C., Kessler, L. The climate beta. Journal of Environmental Economics and Management (2018). Vol 87, pp.258–74.



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

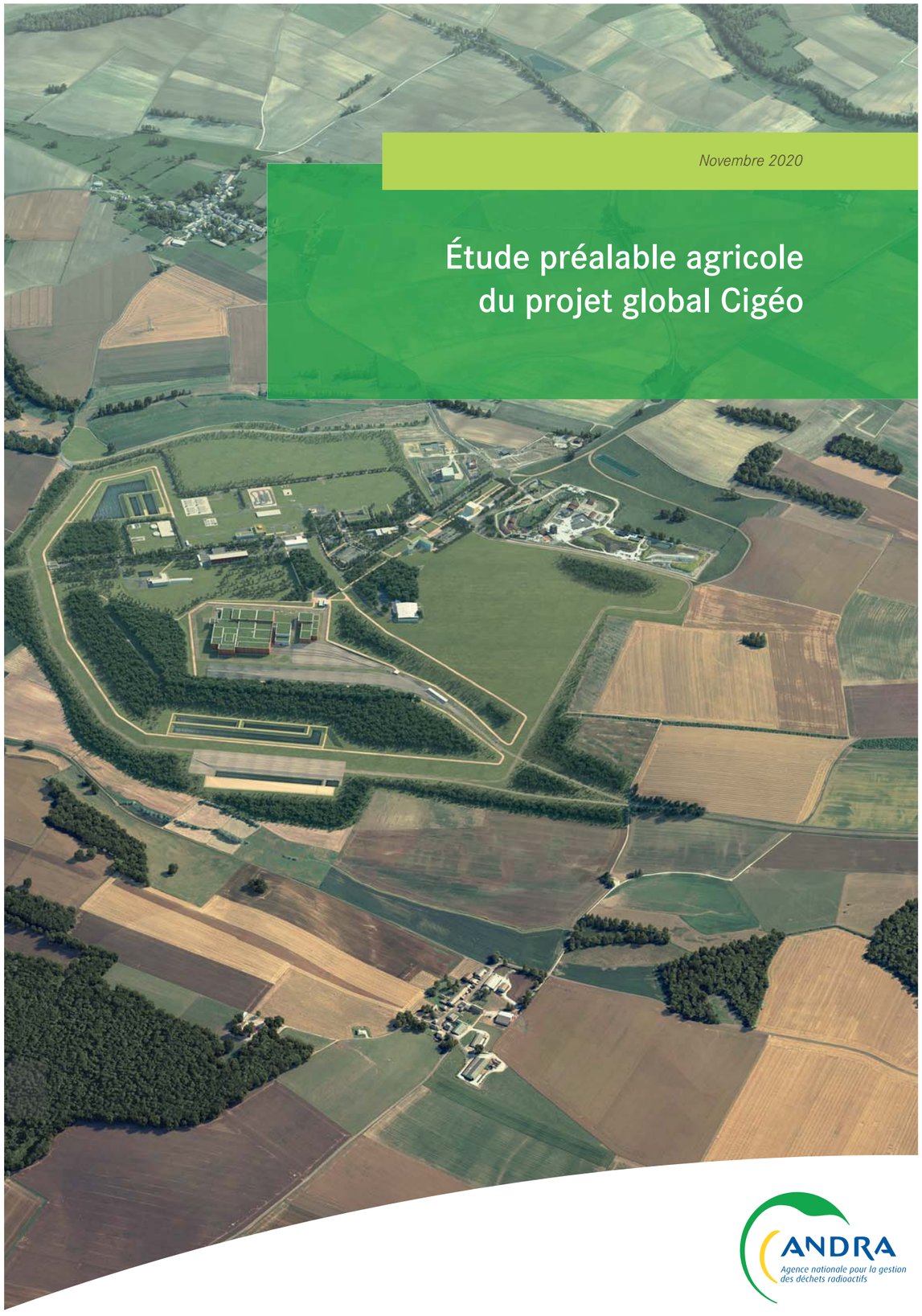
1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr

© Andra • Août 2020 • Création graphique : Agence Les Récréateurs • Crédits photos : Andra

3

Étude préalable agricole du projet global Cigéo



Novembre 2020

Étude préalable agricole du projet global Cigéo

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Sommaire

Préambule 7

Résumé 9

Cadre réglementaire général 27

1. Description du projet et délimitation du territoire concerné 31

1.1 Présentation de l'Andra 32
1.2 Présentation du projet global Cigéo 33
1.2.1 Localisation du centre de stockage Cigéo 34
1.2.2 Principe du stockage géologique 34
1.2.3 Les déchets destinés au centre de stockage Cigéo 35
1.2.4 Le projet global Cigéo 36
1.2.5 Le financement du centre de stockage Cigéo 39
1.2.6 Cigéo, un projet développé en dialogue avec la société 39
1.3 Description des installations du projet global 40
1.3.1 Le centre de stockage Cigéo 40
1.3.2 Les opérations du projet global Cigéo liées à la construction et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo 51
1.4 Phasage du centre de stockage Cigéo 59
1.4.1 La phase d'aménagements préalables 60
1.4.2 La phase de construction initiale 60
1.4.3 La phase de fonctionnement 61
1.4.4 La phase de démantèlement 62
1.4.5 Les phases de surveillance et de post-surveillance 62
1.4.6 Cas particulier de la phase industrielle pilote 63
1.5 Besoins fonciers du projet global Cigéo 63
1.5.1 Emprises des installations du centre de stockage Cigéo 63
1.5.2 Les emprises foncières des autres opérations liées à la construction et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo 69
1.5.3 Les besoins fonciers de compensations environnementales 69
1.6 Délimitation du territoire agricole concerné 72
1.6.1 Les emprises du projet global Cigéo sur des surfaces agricoles 72
1.6.2 Justification de la délimitation du territoire agricole concerné 73

2. Analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné 76

2.1 Définition des aires d'étude 77
2.1.1 Aire d'étude éloignée du projet global Cigéo 77
2.1.2 Aires d'étude rapprochée du centre de stockage Cigéo 78
2.1.3 Aires d'étude des autres aménagements 80
2.1.4 Données agricoles de l'état initial 80
2.2 Contexte agricole régional et départemental 82
2.2.1 L'agriculture en région Grand-Est 83
2.2.2 L'agriculture en Meuse et Haute-Marne 89

2.2.3 La région agricole du Barrois 92
2.3 Activités agricoles sur le territoire concerné (aire d'étude éloignée) 94
2.3.1 Occupation des sols agricoles 95
2.3.2 Exploitations agricoles 97
2.3.3 Orientations technico-économiques des exploitations agricoles 101
2.3.4 Les productions de grandes cultures 102
2.3.5 Élevage et production laitière 105
2.3.6 Productions agricoles sous signes officiels de la qualité et de l'origine (SIQO) 109
2.3.7 Diversification agricole 116
2.3.8 Filières économiques agricoles 119
2.3.9 Emploi agricole 128
2.4 Activités agricoles sur les aires d'étude rapprochées du territoire concerné 129
2.4.1 Occupation des sols 129
2.4.2 Contexte pédologique 131
2.4.3 Assolement des terres labourables 133
2.4.4 Le cheptel bovin et autres élevages 134
2.4.5 Productions SIQO 135
2.4.6 Usages agricoles de la ressource en eau 136
2.4.7 Activité et emploi agricole 137
2.4.8 Principales données agricoles communales 138
2.4.9 Activité agricole et zonage des espèces protégées 140
2.4.10 Activité agricole et zone vulnérable de la directive « nitrates » 140
2.4.11 Activité agricole et protection de captages d'eau potable 142
2.5 État initial pour les autres opérations du projet global Cigéo 143
2.5.1 Raccordement sur la ligne électrique existante 400 kV Houdreville/Mery 144
2.5.2 Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 148
2.5.3 Déviation de la route départementale D60/960 149
2.5.4 Adduction d'eau potable 151
2.5.5 Opérations de caractérisation et de surveillance environnementale 151
2.5.6 Sites de compensation environnementale des milieux ouverts 152
2.6 Synthèse des enjeux agricoles du projet global Cigéo 154

3. Étude des effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire 159

3.1 Effets du projet global Cigéo sur l'économie agricole 160
3.2 Les effets négatifs du projet global Cigéo sur l'économie agricole du territoire 161
3.2.1 Mobilisation des réserves foncières agricoles 161
3.2.2 Retrait de terres agricoles 167
3.2.3 Modifications des itinéraires d'accès aux parcelles 169
3.2.4 Coupure de réseaux de drainage de parcelles agricoles 169
3.2.5 Perturbations de la ressource en eau (qualité et quantité), de qualité de l'air pouvant impacter la qualité des productions agricoles 169
3.2.6 Une évolution de l'image des productions 170
3.2.7 La modification des pratiques agricoles sur les surfaces de mesures compensatoires environnementales 170
3.3 Les effets positifs du projet sur l'économie agricole du territoire 171
3.3.1 Développement de la diversification de l'activité des exploitations 171
3.3.2 Mesures compensatoires environnementales et développement d'une agriculture soucieuse de préserver la biodiversité 171
3.4 Effets cumulés avec d'autres projets 171

3.5 Synthèse des effets et des incidences du projet global Cigéo pour l'économie du territoire 172
3.6 Évaluation des incidences économiques du projet global Cigéo pour le territoire 173
3.6.1 Incidences économiques induites par la perte de surface agricole 174
3.6.2 Incidences économiques induites par les mesures compensatoires environnementales 182
3.6.3 Incidences économiques pour les productions sous SIQO, la qualité et l'image des productions agricoles 184
3.6.4 Incidence économique globale 187

4. Mesures d'évitement et de réduction des effets négatifs du projet 191
4.1 Mesures d'évitement 192
4.1.1 Choix d'implantation des installations de surface 192
4.1.2 Choix d'implantation des aménagements linéaires 195
4.1.3 Installations de surface hors bâtis agricoles 198
4.1.4 Préservation des surfaces agricoles au-dessus de la zone d'implantation des ouvrages souterrains 199
4.1.5 Échange de foncier pour maintenir les exploitations agricoles 199
4.1.6 Préservation des surfaces agricoles pour les mesures compensatoires sylvicoles 205
4.1.7 Choix de conception pour éviter des émissions de poussières et de polluants dans l'air 205
4.1.8 Protection de la ressource en eau 206
4.2 Mesures de réduction 207
4.2.1 Gestion des réserves foncières 207
4.2.2 Maintien et rétablissement des dessertes agricoles 208
4.2.3 Maintien et rétablissement des réseaux de drainage 213
4.2.4 Contrôle des risques de dissémination d'espèces invasives 213
4.2.5 Contrôle des émissions de particules et de gaz 213
4.2.6 Suivi de la qualité des productions agricoles pour la protection de leur image 214
4.2.7 Choix des sites de mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts 219
4.3 Mesures envisagées non retenues 221
4.4 Synthèse des principales mesures d'évitement et de réduction 221

5. Mesures de compensation collective 223
5.1 Modalités de compensation 224
5.1.1 Dispositif de compensation retenu 224
5.1.2 Évaluation du montant de la compensation pour le projet global Cigéo 225
5.2 Constitution et modalités de gestion du fonds de compensation 226
5.3 Principes de mise en œuvre de la compensation agricole collective 228
5.3.1 Phase 1 : mobilisation des acteurs locaux pour identifier les projets à développer 228
5.3.2 Phase 2 : création d'un comité de pilotage (COPIL) et définition de ses missions 231
5.3.3 Phase 3 : conduite des appels à projets 232
5.3.4 Phase 4 : suivi des projets 232

6. Conclusion 235

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Sommaire

Annexes 237
Annexe 1 Compensation écologique des milieux prairiaux 238
Annexe 2 Compensation écologique des milieux cultivés 243
Annexe 3 Coûts des mesures compensatoires environnementales 250
Annexe 4 Rétablissements de la liaison intersites 257
Annexe 5 Rétablissements de l'installation terminale embranchée 261
Annexe 6 Les 11 régimes notifiés encadrant des systèmes d'aides 268

Tables des illustrations 269

Références bibliographiques 275

Lexique 279

Préambule

Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) est le projet français, porté par l'Andra[1], de centre de stockage profond des déchets radioactifs. Il est conçu pour stocker les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), essentiellement issus de l'exploitation des installations de production d'électricité. Ces déchets ne peuvent pas être stockés en surface ou à faible profondeur en raison de leur niveau de radioactivité élevé et de leur durée de vie longue.

La réalisation du projet nécessite des emprises foncières pour l'installation d'infrastructures de surface sur les départements de Meuse et de Haute-Marne. Une importante partie de ces emprises correspondent à des terres agricoles.

L'étude préalable économique agricole, objet de ce document, répond aux dispositions des articles L. 112-1-3 et D. 112-1-18 à 22 du code rural et de la pêche maritime.

Cette étude préalable présente le projet et les caractéristiques du territoire d'accueil puis les effets économiques associés. Enfin, sont présentées les modalités de compensation agricole collective proposées afin de consolider l'économie agricole du territoire concerné par les effets résiduels du projet subsistant malgré la mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction.

Ainsi, ce document comprend :

- chapitre 1 : description du territoire et délimitation du territoire concerné
- chapitre 2 : analyse de l'état initial du territoire agricole concerné
- chapitre 3 : étude des effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire
- chapitre 4 : mesures d'évitement et de réduction des effets négatifs du projet
- chapitre 5 : mesures de compensation collective

[1] Andra : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Résumé

Cigéo est le projet français de centre de stockage profond de déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), porté par l'Andra. Son objectif est la mise en sécurité, à terme définitive, de ces déchets radioactifs, essentiellement issus de l'exploitation des installations de production d'électricité. Ces déchets HA et MA-VL présentent une forte dangerosité induite par leur radioactivité importante et leur longue durée de vie.

La réalisation du projet, implique, sur les départements de Meuse et de Haute-Marne, des emprises foncières pour l'installation d'infrastructures de surface. Une partie de ces emprises est située sur des terres agricoles. Le maître d'ouvrage (l'Andra) a réalisé la présente étude préalable économique agricole répondant aux dispositions des articles L. 112-1-3 et D. 112-1-18 à 22 du code rural et de la pêche maritime. Cette étude concerne le projet global Cigéo. Elle prend en compte le centre de stockage et les opérations associées nécessaires à son exploitation, conduites par d'autres maîtres d'ouvrage.

Pour mener cette étude, un groupe de travail composé de représentants des services de l'État, des Chambres d'Agriculture, des filières agricoles et d'experts, s'est réuni à plusieurs reprises de 2018 à 2020.

Cette étude préalable, résumée ici, comprend cinq chapitres conformément à l'article L. 112-1-19. Le premier chapitre est consacré à la présentation du projet et à la délimitation du territoire agricole concerné, suivi, dans un deuxième chapitre, de l'analyse de l'état initial de l'économique agricole de ce territoire. Cette analyse porte sur la production agricole primaire, la première transformation et la commercialisation. En troisième partie, les effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole sont étudiés pour en évaluer l'impact sur l'emploi et l'incidence financière globale cumulée y compris avec ceux d'autres projets connus. Le quatrième chapitre décrit quant à lui les mesures qui ont été envisagées et retenues pour éviter et réduire les effets négatifs notables du projet. Il y est également précisé les raisons qui ont amené à ne pas retenir certaines d'entre elles ou à les juger insuffisantes. Au terme de cette analyse des incidences du projet sur l'économie agricole, dans un cinquième chapitre, les mesures de compensation collective sont décrites avec une évaluation de leur coût et des modalités de leur mise en œuvre.

1. Description du projet global Cigéo et délimitation du territoire concerné

Les missions confiées par l'État à l'Andra comprennent l'étude et la conception de solutions de gestion à long terme pour les déchets radioactifs qui n'en ont pas encore (déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL), déchets de haute activité (HA)).

Le projet de centre de stockage Cigéo est le fruit des études et concertations menées par l'Andra pour la gestion durable des déchets HA et MA-VL, dont le niveau de radioactivité et la durée de vie ne permettent pas de les stocker de manière sûre en surface ou à faible profondeur. Ces déchets sont principalement issus de l'exploitation des installations de production d'électricité.

Le stockage géologique consiste à placer les colis de déchets radioactifs dans des ouvrages construits dans le sous-sol, à une profondeur permettant d'isoler les déchets de l'homme et de l'environnement, pour tirer parti des propriétés naturelles des roches sur de grandes échelles de temps.

Le « projet global Cigéo » comprend le centre de stockage Cigéo lui-même et les opérations (installations, aménagements et constructions d'ouvrages), situées à l'extérieur du centre, nécessaires à la réalisation et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

Les opérations réalisées à l'extérieur du centre de stockage Cigéo dans le cadre du projet global Cigéo, correspondent à l'alimentation électrique par un raccordement sur la ligne existante 400 kV Houdreville-Méry, à l'adduction d'eau potable depuis les captages de Thonnance-les-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-Le-Château, à la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027 000 entre Nançois-Tronville et

Gondrecourt-le-Château, à la déviation de la route départementale D60/960, à l'expédition et au transport des colis depuis les sites producteurs et également à des opérations de caractérisation et de surveillance environnementale menées par l'Andra pour acquérir des connaissances et contrôler le fonctionnement des installations.

Le centre de stockage Cigéo comprend quatre grandes infrastructures de surface (zone descenderie, zone puits, liaison intersites et installation terminale embranchée) et une partie souterraine avec les ouvrages de stockage (cf. Figure 1.1-1) :

- une zone descenderie (ZD), principalement dédiée à la réception des colis de déchets radioactifs envoyés par les producteurs, à leur contrôle et à leur préparation avant transfert dans l'installation souterraine pour leur stockage ;
- une zone puits (ZP), dédiée aux installations de soutien aux activités réalisées dans l'installation souterraine et en particulier aux travaux de creusement ;
- une zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS), comprenant les accès depuis la surface, des quartiers de stockage des colis de déchets radioactifs et des zones de soutien logistique (ZSL) ;
- une liaison intersites (LIS) en surface, reliant la zone puits à la zone descenderie, comprenant un convoyeur, une voie dédiée à la circulation des poids lourds et une voie pour la circulation des véhicules légers ;
- une installation terminale embranchée (ITE), voie ferrée reliant la zone descenderie au Réseau ferré national (RFN) à Gondrecourt-le-Château et incluant une plateforme logistique dans cette commune.

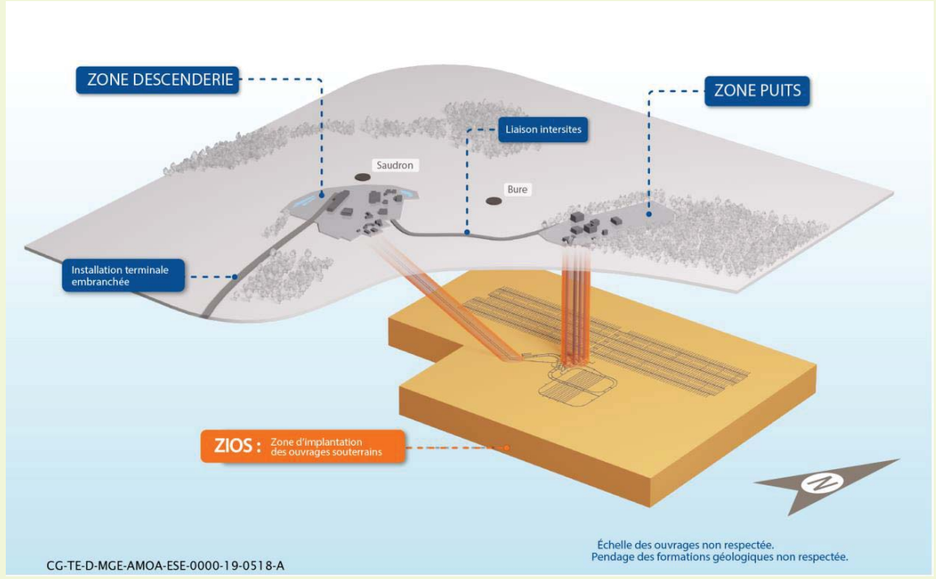


Figure 1.1-1 Représentation illustrative du centre de stockage Cigéo

Le déploiement du centre de stockage Cigéo est envisagé selon plusieurs phases temporelles successives : la phase d'aménagements préalables pendant laquelle seront en particulier réalisés les raccordements aux différents réseaux, la phase de construction initiale, la phase de fonctionnement, puis à l'horizon de plus d'un siècle, la phase de démantèlement et de fermeture suivie des phases de surveillance et de post-surveillance. Le code de l'environnement prévoit une phase industrielle pilote (Phipil) pour le centre de stockage Cigéo. L'Andra propose que cette phase particulière recouvre la phase de construction initiale et de premières années de la phase de fonctionnement.

Le projet est situé dans la région Grand-Est de la France à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Sa réalisation nécessite une surface de 665 hectares dont plus de la moitié correspond à des terres agricoles. La zone d'intervention potentielle pour le centre de stockage en particulier couvre un maximum de 388 hectares de terres agricoles (dont 68 ha correspondant à la marge d'incertitude[2]). À ces besoins fonciers agricoles du centre de stockage Cigéo viennent s'ajouter, ceux, bien moindres, nécessaires aux installations pour la caractérisation environnementale (2 ha) et aux autres opérations nécessaires à sa construction et à son fonctionnement portés par d'autres maîtres d'ouvrages (la déviation de la route départementale D60/960 : 9 ha, le raccordement à la ligne électrique 400 kV avec 6 ha pour le poste électrique, la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 avec 9 ha pour les rétablissements et l'adduction d'eau avec moins de 1 ha pour les pompes de relevage et réseau).

Ainsi, le projet global Cigéo pourrait concerner entre 347 et 415 ha selon les implantations définitives des différents aménagements, de surfaces actuellement agricoles contribuant à l'économie agricole (cf. Tableau 1.1-1).

Tableau 1.1-1 Surfaces agricoles concernées par le projet global Cigéo

Installations	Surfaces agricoles	
	Emprise minimale (ha)	Emprise maximale (ha)
Emprise agricole des installations de surface du centre de stockage Cigéo (+ marge d'incertitude 68 ha)	320	388
Poste RTE 400 kV et Ligne 400 kV	6	
Déviation route départementale D60/960	9	
Rétablissements L027000	9	
Réseau d'adduction d'eau	1	
Opération de caractérisation et surveillance	2	
Total	347	415

Par ailleurs, l'évaluation des incidences résiduelles du projet sur le milieu naturel des surfaces impactées met en évidence le besoin de mesures de compensation écologique sur une surface agricole de 166 ha (hors emprises des installations de surface du centre stockage Cigéo). Cette évaluation se base sur les données quantitatives : effectifs des espèces et surfaces des habitats concernés. Les pratiques agricoles sur ces surfaces seront à adapter pour améliorer la biodiversité.

L'analyse de la répartition des emprises agricoles du projet global Cigéo et de l'activité des filières économiques qui en dépendent a permis d'identifier une zone d'influence couvrant les 4 anciens cantons de Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois en Meuse et de Poissons en Haute-Marne. Cette zone correspond ainsi au territoire agricole concerné.

Ce territoire, présenté sur la carte ci-dessous (cf. Figure 1.1-2), intègre les infrastructures de surface du centre de stockage mais aussi les aménagements du projet global Cigéo nécessitant le prélèvement de terres agricoles : options d'implantation de poste de transformation électrique, de mise à niveau de la

[2] Marge d'incertitude correspondant pour les infrastructures linéaires à une bande tampon de 20 m de largeur établie de part et d'autre de la liaison intersites (LIS), de l'installation terminale embranchée (ITE) et aux plateformes de chantiers provisoires pour l'aménagement des ouvrages des rétablissements de cette dernière.

ligne ferroviaire 027000, déviation de la route départementale D60/960 et également les sites de compensation environnementale sur des surfaces agricoles encore exploitées. Il permet d'appréhender l'impact potentiel du projet global sur l'économie agricole. Il prend en compte l'organisation locale des filières et les aires d'influence des opérateurs économiques.

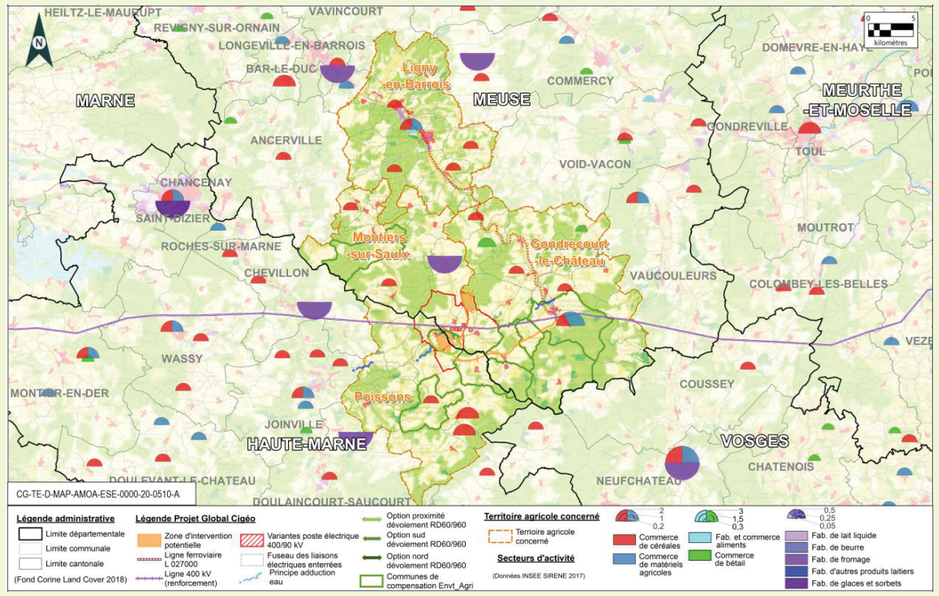


Figure 1.1-2 Délimitation du territoire agricole concerné

Le territoire concerné, compte tenu de la localisation des opérations nécessaires à sa réalisation et des acteurs des filières contribuant à l'économie agricole locale correspond aux quatre anciens cantons de Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois en Meuse et de Poissons en Haute-Marne. Il permet d'appréhender l'impact potentiel du projet sur l'économie agricole. Il couvre les structures amont, la première transformation et la commercialisation de la production. Le territoire concerné intègre l'organisation locale des filières et couvre les aires d'influence des opérateurs économiques.

2. Analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné

L'état initial de l'économie agricole est regardé à l'échelle du territoire concerné (nommée aussi aire d'étude éloignée), resitué dans son contexte régional et départemental mais également à l'échelle (nommée aire rapprochée) des communes directement affectées par le prélèvement important de terres agricoles pour l'implantation du centre de stockage.

L'état initial pour les aménagements linéaires existants (ligne électrique 400 kV et ligne ferroviaire 027000) présente leurs situations vis-à-vis des surfaces agricoles.

Les données utilisées sont issues de documents et bases de données publiques mises à disposition en particulier par la DRAAF Grand-Est et le SRISE.

L'activité agricole est un pilier majeur de l'économie de la région Grand-Est dont environ la moitié est occupée par des terres agricoles. Il en est de même en Meuse et en Haute-Marne et plus particulièrement pour la région agricole du Barrois sur laquelle la majeure partie des aménagements du projet global

Cigéo sera réalisé. Les surfaces agricoles sont majoritairement dédiées aux cultures (blé, orge, maïs…), des oléoprotéagineux (colza, pois, tournesol) et quelques prairies en fond de vallée.

a. État initial du territoire concerné

Sur l'ensemble du territoire concerné, correspondant aux 4 anciens cantons de Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois en Meuse et de Poissons en Haute-Marne, la part de terres agricoles (55 %) est du même ordre qu'aux niveaux régional et départementaux. Près de 80 % des surfaces agricoles utiles sont des terres labourables avec une prédominance majeure des grandes cultures. Cette situation est moins prononcée sur le canton de Ligny-en-Barrois pour lequel les surfaces boisées et urbanisées sont plus importantes.

Occupation des sols et orientations économiques

La part des terres labourables progresse au détriment des surfaces en herbe (prairie permanente) qui ne représentent plus que 30 % de la SAU dans les deux départements mais moins de 15 % sur le territoire concerné (cf. Figure 1.1-3). La surface des exploitations augmente pour compenser des faibles valeurs ajoutées liées en particulier au potentiel agronomique limité des terrains et pour permettre une mécanisation importante.

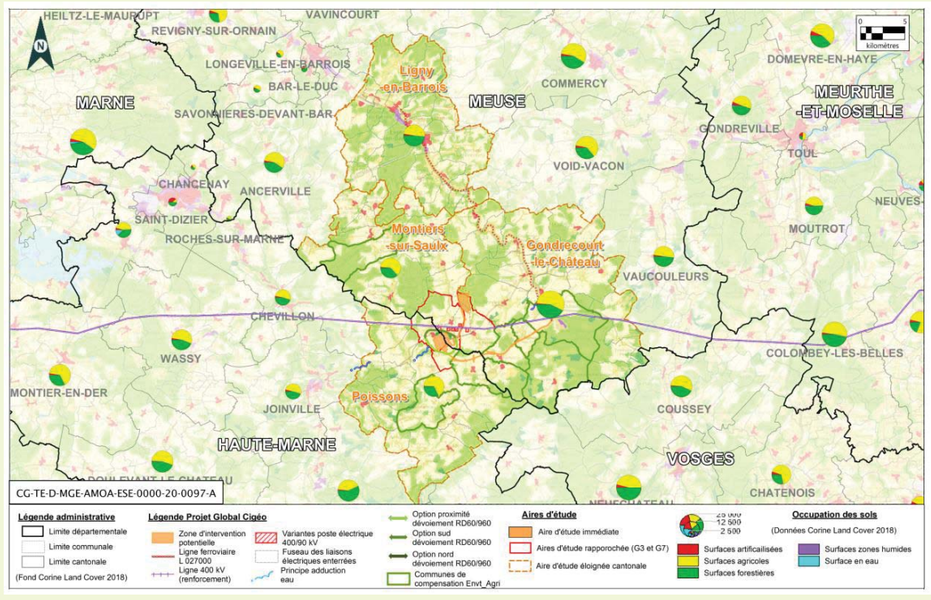


Figure 1.1-3 Carte de répartition cantonale de l'occupation des sols

La surface agricole utile moyenne est de 141 ha/exploitation sur le territoire concerné (111 ha/exploitation en Meuse et 136 ha/exploitation en Haute-Marne). Comme au niveau régional ou départemental, le nombre d'exploitation est en forte baisse. Moins de 300 exploitations seraient encore présentes sur le territoire. Au dernier recensement agricole un peu plus de deux personnes travaillaient par exploitation dont 1,4 avec le statut de chef exploitant. Plus d'un tiers des chefs d'exploitation ou premiers coexploitants avaient plus de 50 ans.

Sur la période 2011-2015, les terres labourables étaient principalement exploitées pour plus de 65 % en céréales (blé, orge et escourgeon), 21 % de colza et 4 % de maïs fourrage. De 2000 à 2018, au niveau départemental comme au niveau du territoire concerné, les rendements des principales cultures n'ont pas progressé. Sur les 9 dernières campagnes (2010-2018), la moyenne des rendements est inférieure à celles des dix années précédentes. Cette situation, moins forte à l'échelle nationale, s'explique localement par des années climatiques très difficiles tantôt par des dégâts de

gel ou par des années de sécheresse. De fait, le volume de production ne progresse plus. Ce constat est le même sur tout le territoire concerné.

L'élevage dans les départements de Haute-Marne et de Meuse ainsi que sur le territoire concerné, est essentiellement de type bovin. Sur la période 2000 à 2016, le nombre de têtes a beaucoup diminué. C'est en particulier celui des vaches laitières qui a été le plus affecté avec une baisse de 6 % à 30 % selon les cantons. La production laitière qui avait fortement diminué de 1984 à 2000, s'est toutefois stabilisée au cours des 15 dernières années avec une progression significative en Meuse grâce à une spécialisation des troupeaux avec une amélioration des performances de production et à la suppression des quotas laitiers en 2015.

Appellations d'origine et les indications géographiques (SIQO)

Les appellations d'origine et les indications géographiques (SIQO) par leur spécificité et leur ancrage territorial représente une source de valeur ajoutée, une opportunité et un potentiel de développement pour les agriculteurs et les transformateurs qui dépendent toutefois de la qualité des productions et de la perception (image) du territoire par les consommateurs.

Sur le territoire concerné, deux appellations fromagères sont recensées : l'IGP Emmental Français Est-Centrale qui couvre le département de la Haute-Marne dont le canton de Poissons et l'AOC Brie de Meaux qui couvre les cantons de Montiers-sur-Saulx, de Ligny-en-Barrois, la quasi-totalité de celui de Poissons et la partie ouest du canton de Gondrecourt-le-Château. Une partie de la production laitière peut être utilisée pour ces productions en particulier pour celle du Brie de Meaux. En effet, la production du Brie de Meaux est réalisée à 70 % dans le département de la Meuse. Trois industriels du Brie de Meaux sont recensés dans le département de la Meuse à proximité du centre de stockage Cigéo :

- ✓ Fromagerie Renard-Gillard (Groupe SODIAAL) 55290 BIENCOURT-SUR-ORGE (7 km de Bure) ;
- ✓ Fromagerie Dongé 55500 Ligny-en-Barrois (22 km de Bure) ;
- ✓ Société Fromagerie de Raival (Groupe LACTALIS) 55260 RAIVAL (48 km de Bure).

L'aire géographique IGP Emmental Français Est-Central couvre une surface très importante de 7,35 millions d'hectares Le territoire concerné est situé en limite de cette aire et aucun producteur laitier pour cet IGP n'y est identifié. Aucun fabricant n'est d'ailleurs implanté sur le territoire concerné ou même en Haute-Marne.

La partie en Haute-Marne du territoire concerné est situé en périphérie de l'aire d'appellation IGP Haute-Marne qui regroupe des vins mousseux, des vins primeurs et des vins tranquilles et couvre la totalité du département de la Haute-Marne. Aucun producteur pour cet IGP n'est recensé sur le territoire concerné. Les vignobles les plus proches sont situés à RIZAUCOURT-BUCHEY distants de 40 km du projet de centre de stockage Cigéo. Les autres appellations sont distantes de plus de 30 km. Pour mémoire, le territoire n'est pas concerné par d'autres appellations présentes en région Grand-Est (en particulier AOC/IGP Mirabelle ou IGP volailles)

Les productions sous appellations d'origine et les indications géographiques (SIQO) y compris les productions en agriculture biologique sont encore peu présentes sur les 2 départements et le territoire concerné, laissant une part à un potentiel développement.

Plus largement, pour faire face à la situation économique, les exploitations agricoles tendent à diversifier leurs activités. Lors du dernier recensement agricole, déjà plus de 20 % des exploitations agricoles du territoire concerné ont une activité de diversification alors qu'elles sont moins de 18 % en Meuse et 14 % en Haute-Marne. Elles réalisent par exemple des prestations de service utilisant leurs moyens humains et/ou matériels de l'exploitation pour l'entretien du territoire, proposent des hébergements et des ventes directes, des activités de loisirs et depuis quelques années contribuent à la production d'énergie.

Filières économiques

Plusieurs coopératives agricoles et plusieurs opérateurs privés ont des infrastructures pour le commerce de gros de céréales, de semences et d'aliments pour le bétail (approvisionnement, collecte) en Meuse et Haute-Marne. Les plus présents en Haute-Marne et Meuse sont VIVESCIA basée à Reims (dép.51) et EMC2 basée à Bras-sur-Meuse (dép.55). Ces deux coopératives disposent de nombreuses infrastructures pour l'approvisionnement et la collecte des céréales et des oléo protéagineux sur le territoire concerné. Les quatre opérateurs privés principaux sur la zone sont

SOUFFLET Agriculture, AVENIR AGRO, STOPHYTRA, SOCIETE HOUPPIEZ. Deux petites sociétés de commerce de fourrages y sont également implantées (SARL MEUSE FOURRAGE, SARL DES OUILLONS).

Pour répondre aux besoins en agro-machinisme, trois sociétés principales (CHEVAL, COLLET et GRAILLOT) commercialisent leurs produits sur le territoire. Par ailleurs, une vingtaine de sociétés interviennent en Meuse et Haute-Marne dans le commerce des gros bovins et la filière viande. Sur le territoire concerné, les acteurs principaux sont : Avenir Élevage, LARCHER SAS, Meyer, EMC2, avec en particulier les anciennes activités ALOTIS pour le commerce de gros bovins et Vauthier SEPAC (négociant de la coopérative VIVESCIA), enfin, NEALIA pour l'approvisionnement en aliments du bétail avec une implantation à Velaine.

La collecte et la commercialisation du lait est effectuée principalement dans le sud de la Meuse par la Coopérative « Union Laitière de la Meuse (ULM) » et en Haute-Marne par la société Lactalis. L'ULM approvisionne notamment la fromagerie Renard-Gillard (AOC brie de Meaux) à Biencourt-sur-Orge (cf. ci-dessus). La Meuse et la Haute-Marne sont des territoires fromagers. Plus de 75 % de la collecte de lait y est transformée.

À l'échelle départementale, l'industrie agro-alimentaire se concentre en effet principalement sur la fabrication de produits laitiers, puis la transformation et conservation de la viande et en Meuse, des activités de transformation et conservation de fruits et légumes et de fabrication de produits de boulangerie pâtisserie et pâtes.

La part agricole de la population active représente environ 5 % à 7 % à l'échelle départementale de Meuse et de Haute-Marne et 9 % en moyenne sur l'aire d'étude éloignée avec 35 % sur le seul canton de Poissons et seulement 2 % sur le canton de Ligny-en-Barrois. Cette répartition des actifs montre encore l'importance de l'activité économique agricole sur le territoire concerné.

b. État initial de l'aire rapprochée correspondant aux communes d'implantation du projet de centre de stockage

Les sept communes regroupées dans l'aire d'étude rapprochée sont des communes rurales. La densité de population y est très faible, de l'ordre de 12 habitants par km². La proportion de terres agricoles est importante. Plus de 62 % de la surface totale des sept communes de l'aire agricole rapprochée (G7) correspond à des terres agricoles (terres arables, cultures permanentes, prairies et autres terres agricoles) dont environ 80 % de terres labourables. Cette part des surfaces agricoles est nettement supérieure à celle observée à l'échelle départementale (de 50 % en Haute-Marne et 55 % en Meuse) et du territoire concerné (55 %), montrant l'importance de l'agriculture pour ces communes.

Certaines terres agricoles sont situées sur des espaces d'intérêt écologique, des zonages liés à la Directive Nitrate ou des aires de protection de captages et leur exploitation doit alors tenir compte des exigences associées.

Les exploitants présents sur les 7 communes, pratiquent principalement la culture de céréales, essentiellement du blé, de l'orge et du colza. L'élevage est un élevage bovin (laitier et viande) mais de faible densité représentatif d'une prédominance d'exploitation de grandes cultures.

Cinq des sept communes sont dans l'aire d'appellation de l'AOC Brie de Meaux et le lait de quelques producteurs (moins d'une dizaine) contribue à la fabrication de ce fromage. Aucun producteur ne semble contribuer à la fabrication de l'emmental français dont l'aire d'appellation IGP couvre les trois communes de Haute-Marne.

La desserte des exploitants est assurée principalement via des routes départementale D60/960, D32/132, D138 et un ensemble de chemins ruraux et agricoles.

L'irrigation des cultures n'est pas pratiquée dans la région. Quelques parcelles drainées sont recensées dans l'aire d'étude rapprochée, par exemple dans la partie amont de la vallée de l'Orge, représentant moins de 3 % des surfaces agricoles. Des captages dans les eaux souterraines peuvent servirent pour l'abreuvement du cheptel. En octobre 2019, sur la base Infoterre, sont recensés dans l'aire d'étude rapprochée : trois puits (Bure : 2 ; Mandres-en Barrois : 1), 2 forages (1sur Bure et 1 sur Gondrecourt-le Château) et 3 sources (Gondrecourt-le Château, Horville-en-Ornois, Cirfontaines-en-Ornois). Une campagne de recensement des captages d'eau et de leur usage sera réalisée en 2020 afin de vérifier ces informations sur le terrain.

c. État initial pour les autres opérations du projet global Cigéo

Alimentation électrique : la ligne électrique à renforcer est supportée par 235 pylônes répartis sur un linéaire de 130 km de la commune de Balignicourt (Aube) jusqu'au poste d'Houdreville (Meurthe-et-Moselle) et dont une partie seulement est sur le territoire concerné défini. La ligne 400 kV traverse de vastes étendues agricoles de grandes cultures et de prairies. Différents scénarios sont envisagés pour l'implantation du poste de transformation électrique utilisant de l'ordre de 6 hectares de terres agricoles, tous situés dans l'aire rapprochée du projet de centre de stockage.

Mise à niveau de la **ligne ferroviaire 027000** : cette ligne est située sur les anciens cantons de Gondrecourt-le-Château et de Ligny-en-Barrois du territoire concerné, les travaux de mise à niveau nécessitent des espaces de chantier et l'aménagement de rétablissements. L'aire d'étude pour cet état initial couvre un fuseau regroupant les infrastructures linéaires de la voie ferrée et les rétablissements. Les surfaces agricoles de cette aire d'étude représentent 19 ha dont 43 % de terres labourables et 57 % de prairies. Une grande partie de ces surfaces, en particulier les prairies utilisées pour le fourrage, est dans l'aire d'appellation AOC Brie de Meaux. Les travaux de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 nécessitent des emprises agricoles réparties le long du linéaire d'une surface d'environ 9 hectares.

Concernant l'opération de **déviation de la route départementale D60/960**, les fuseaux correspondant aux différentes options s'inscrivent dans l'aire rapprochée du projet de centre de stockage et concernent principalement des surfaces agricoles de grandes cultures. La surface agricole susceptible d'être aménagée retenue pour le rétablissement de la route départementale D60/960 s'établit à 9 hectares.

Pour **l'adduction d'eau**, compte tenu de l'environnement rural, les travaux pourraient concerner une surface agricole, toutefois très limitée.

Les **opérations de caractérisation et de surveillance environnementale** nécessitent la création de 4 plateformes de forages implantées sur une surface agricole cumulée d'un hectare, occupée actuellement par de grandes cultures et autres forages de surveillance de l'environnement qui ne sont pas aujourd'hui spatialisés mais nécessiteront que des occupations temporaires sur de petites surfaces. C'est ainsi au total 2 hectares de terres agricoles qui seront mobilisés pour les opérations de caractérisation et de surveillance environnementale.

Des **mesures compensatoires environnementales** des milieux ouverts seront mises en œuvres sur des surfaces agricoles actuellement cultivées et des prairies dont certaines aujourd'hui en friche sur lesquelles les modalités d'exploitation seront adaptées pour favoriser la biodiversité.

Cette analyse de l'état initial met en évidence l'importance de l'économie agricole pour le territoire concerné. Elle permet de cibler les enjeux majeurs pour lesquels les effets du projet doivent être évités et/ou réduits, si nécessaire compensés. Les principaux enjeux sont ceux liés d'une part à la perte de surface agricole dont dépend l'activité des exploitations agricoles et celle des filières économiques et d'autre part ceux liés à la qualité et l'image des productions. Ces derniers sont d'autant plus importants que plusieurs productions agricoles fromagères sous SIQO (Signes d'identification de la qualité et de l'origine) ont une partie de leur aire d'appellation sur ce territoire et que plusieurs unités de transformation y sont implantées. D'autres enjeux relèvent davantage des incidences d'une modification du parcellaire agricole pour des mesures réglementaires appliquées dans le cadre de périmètres de protection de l'environnement (zone vulnérable de la Directives Nitrates, zone Natura 2000, protection de captage) et pour assurer le maintien des dessertes agricoles.

3. Effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire

Les effets du projet global Cigéo correspondant potentiellement à des incidences pour l'économie agricole et qui peuvent être permanentes ou temporaires sont :

Les effets négatifs du projet :

- la mobilisation de réserves foncières agricoles avec une incidence potentielle sur le marché foncier et les surfaces disponibles pour l'installation et l'agrandissement des exploitations ;
- le retrait de surfaces agricoles conduisant à :
  - ✓ une diminution de surface agricole exploitable impactant les productions locales, les filières et l'emploi ;
  - ✓ une diminution des terres exploitables pour des productions sous signe d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) à plus haute valeur ajoutée ;
- les modifications des itinéraires d'accès de parcelles agricoles ;
- la coupure de quelques réseaux de drainage de parcelles agricoles ;·
- d'éventuelles perturbations temporaires de la ressource en eau (quantité, qualité), de la qualité de l'air en particulier lors des phases de travaux qui pourraient impacter les productions agricoles ;
- la présence du projet, compte tenu en particulier de la présence de déchets radioactifs, susceptible de modifier l'image des productions ;
- la modification des pratiques agricoles sur les surfaces de compensation environnementale des milieux ouverts.

Les effets positifs du projet :

- développement de la diversification de l'activité des exploitations ;
- développement du changement des modalités d'exploitation de parcelles en mesures compensatoires écologiques des milieux ouverts.

a. Mobilisation de réserves foncières agricoles

La SAFER, sur plus de dix ans, a procédé à l'acquisition de terrains principalement sur des exploitations sans repreneur afin de constituer une réserve foncière pour anticiper sur le besoin foncier nécessaire pour compenser la consommation de terres agricoles par le projet et permettre sa réalisation. En 2011, l'ensemble des réserves foncières agricoles s'élevait à un peu plus de 400 ha. Suite à la définition de la zone descenderie en 2012, les premiers échanges de parcelles ont été effectués pour en assurer la maîtrise foncière pour atteindre 271 ha en 2015, puis des échanges ont été faits au niveau des zones d'implantation potentielle de l'installation terminale embranchée et de la liaison intersites avec un total de 307 ha en 2019. Parallèlement à ces échanges, les sites de compensations environnementales sur les milieux ouverts, sur une surface de 166 ha, ont été définis en priorité sur des parcelles déjà maîtrisées. De 2012 à 2019, les stocks fonciers agricoles hors emprises du centre de stockage ont été ramenés de 623 ha à 413 ha.

À l'échelle du territoire concerné regroupant les 4 anciens cantons (Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Poissons et Ligny en Barrois), cette réserve foncière représente une mobilisation de 2,2 % de la SAU totale.

À l'échelle de la petite région agricole du Barrois dans laquelle se situe principalement la réserve constituée, la tendance à la hausse de la valeur du foncier observée sur la période 2010-2018 est du même ordre que celle observée au niveau des départements. De 2010 à 2018, le prix du foncier libre a progressé de 38 % sur le département de la Meuse et de 27 % sur le département de la Haute-Marne. Sur le secteur du Barrois, le prix du foncier a progressé de 34 % au cours de la même période. On note que l'écart de prix entre les biens libres et loués est significatif sur le Barrois en Meuse (+35 % pour les biens libres) alors qu'il est nettement plus variable dans le Barrois Haut-Marnais. À partir de l'année 2015, le prix des terres continuent de progresser sur le Barrois-Meuse alors qu'il régresse sur le secteur du Barrois-Haute-Marne pour se stabiliser. Ces observations de l'évolution du

prix des terres tendent à montrer que les acquisitions foncières pour le projet Cigéo ont eu peu d'influence sur le marché.

Cependant, la constitution de réserves foncières a réduit la disponibilité des surfaces agricoles de façon significative pouvant pénaliser temporairement des possibilités d'installation ou d'agrandissement d'exploitations. À l'issue des derniers échanges à réaliser et après validation des sites de compensation environnementale, 400 ha de surface agricole seront remis sur le marché agricole. Les représentants de la profession agricole pourront définir les critères de redistribution en fonction des besoins d'installation et d'agrandissement de certaines structures.

b. Retrait de surface agricole

La perte de surface agricole induit un effet direct et permanent sur l'économie agricole. Non seulement elle va limiter les volumes produits pour les filières aval mais également affecter les filières amont nécessaires au fonctionnement des exploitations. Les filières impactées sont celles liées aux systèmes de production présents dans les emprises nécessaires au projet qui sont majoritairement ceux de grandes cultures, de polyculture-élevage et laitiers. Le retrait de la surface agricole réduit la part d'activité des exploitants mais également celle de la main d'œuvre salariale.

Ainsi, malgré les mesures d'évitement et de réduction, le retrait de surface agricole a un effet notable sur l'économie agricole du territoire concerné.

c. Modifications des itinéraires d'accès aux parcelles

Les dessertes agricoles ont été étudiées sur l'ensemble de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo en concertation avec les usagés. L'accès aux parcelles agricoles est assuré pour tous les exploitants concernés sans allongement notable des temps de parcours.

Les rares réseaux de drainage de parcelles agricoles qui seraient concernés par des coupures seront reconstitués.

d. Perturbations potentielles de la ressource en eau et de la qualité de l'air

Des perturbations potentielles de la ressource en eau (quantité, qualité) et de la qualité de l'air pourraient impacter la qualité des productions agricoles. Elles sont prises en compte lors des phases de travaux et dans la conception. Elles n'auraient pas d'incidence sur l'économie agricole.

e. Évolution de l'image des productions

Pour les productions sous SIQO en particulier celles des deux appellations fromagères qui sont associées à une aire de production et donc à un terroir, toute activité industrielle implantée sur ce terroir peut générer un risque d'atteinte à l'image de ces productions et à une possible délocalisation des sites de transformation. En effet, la fromagerie Renard-Gillard a également un deuxième site de production de Brie de Meaux à COURTENAY (45) au sud-ouest de la région parisienne à plus de 200 km des futures installations du centre de stockage Cigéo, la fromagerie de Raival fait partie du groupe Lactalis qui possède aussi d'autres unités de production en zone d'appellation Brie de Meaux.

Le projet est localisé à la périphérie des deux appellations AOC-AOP Brie de Meaux et/ou IGP Emmental français Est-Central et n'affecte pas les critères des cahiers des charges. Toutefois, il est difficile d'apprécier aujourd'hui l'incidence de la présence du centre de stockage sur l'image des productions.

f. Modification des pratiques agricoles sur les surfaces de compensation environnementale

La mise en œuvre de ces mesures environnementales permet le maintien d'une activité agricole. Sur ces surfaces, seules les charges inhérentes à leur exploitation et à leur niveau de production en seront modifiées avec une incidence possible et variable sur les revenus des exploitants et les filières en fonction de la mesure appliquée. Toutefois, l'évolution vers des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement pourra être valorisée par le territoire et des exploitants désireux de développer leur système de production dans le cadre d'une appellation Agriculture Biologique ou d'une agriculture de conservation en faveur de la biodiversité.

Enfin, la réalisation du projet va nécessiter la venue sur le territoire d'une population qui aura sans doute un effet positif sur le développement de l'hébergement à la ferme et la vente directe de produits.

Les autres projets dont l'implantation est envisagée sur le territoire se limitent à quelques projets éoliens nécessitant de faibles surfaces agricoles. Aucun effet cumulé avec le projet global Cigéo n'est donc attendu.

g. Évaluation économique

Malgré les mesures d'évitement et de réduction engagées dès la conception du projet de centre de stockage Cigéo (présentées ci-dessus), l'implantation et les dimensions des infrastructures en surface, dépendantes en particulier du positionnement des ouvrages souterrains dans la couche géologique, induisent des effets négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire.

Ces effets résiduels ont fait l'objet d'une évaluation afin d'estimer les conséquences économiques du projet global Cigéo pour l'ensemble des opérateurs de la filière agricole. Ils sont essentiellement liés au retrait définitif des surfaces agricoles principalement de grandes cultures sous les emprises du projet global Cigéo, à la réorientation de surfaces agricoles pour des mesures compensatoires environnementales et à la perte potentielle de développement de production sous SIQO.

L'évaluation financière de cet impact agricole est établie à partir de la mesure de perte de richesse générée par l'agriculture au niveau de l'exploitation et de l'activité amont et aval des filières. Cette valeur ajoutée est définie comme la différence entre la valeur finale de la production (valorisée par le chiffre d'affaires) et la valeur des biens et moyens nécessaires au processus de production (main d'œuvre, équipement, agrofournitures, conseils et divers). Le chiffrage final permet d'établir une estimation du préjudice global sur la filière et sur le tissu économique en général. Pour cette expertise, un groupe de travail composé de représentants des chambres départementales d'agriculture de Meuse, de Haute-Marne, de l'INAO (Institut national de l'origine et de la qualité), de la DRAAF, des DDT s'est réuni à plusieurs reprises pour fixer les hypothèses, les données d'entrée et valider chaque étape de cette évaluation. Les données économiques sont extraites des bases comptables constituées par le centre de gestion agricole (Cerfrance/Adheo). Ainsi :

- ✓ La perte économique induite par le retrait de surface agricole repose d'une part sur la perte de revenu disponible et de rémunération du travail à l'échelle de l'exploitation et d'autre part sur l'estimation de la perte de valeur ajoutée pour les filières amont/aval. Cette estimation est établie sur la base d'une expertise comptable des systèmes d'exploitation représentatifs du territoire concerné. La perte financière à l'hectare est estimée à 879 € par hectare et par an. Cette perte à l'hectare est appliquée à l'ensemble de la surface concernée qui peut varier de 347 à 415 hectares en fonction des emprises définitives.
- ✓ La mise en œuvre de mesures compensatoires environnementales sur des surfaces agricoles pour favoriser la biodiversité des milieux ouverts, induit une modification des pratiques agricoles qui seront mises en œuvre par des exploitants dans le cadre de baux ruraux environnementaux. De par la nature des mesures, la valeur ajoutée dégagée sur ces surfaces pour les filières sera revue à la baisse. Une estimation de ces incidences financières a été établie pour chaque mesure en comparaison à un référentiel technico-économique régional. L'ensemble de ces mesures génère une perte financière évaluée à 16 600 € par an.
- ✓ Enfin, la réduction des aires d'appellation pour les AOC-AOP et IGP fromagères liée au retrait de surfaces agricoles de la quasi-totalité des emprises du projet global Cigéo peut induire une perte du potentiel de production et par là même celle d'une valorisation supplémentaire. Cette dernière est évaluée sur la base de la majoration de prix pratiquée pour les productions laitières sous appellation. Ainsi, à raison d'une production laitière moyenne de 2 000 litres par hectare et d'une majoration de prix de 70 € par 1 000 litres, l'incidence financière s'établit à un manque à gagner, estimé à 140 € par ha appliqué à la surface concernée.

Le cumul de l'ensemble des pertes financières pour l'économie agricole induites par le projet global Cigéo s'élève de 370 193 € par an à 439 485 € par an en fonction des emprises foncières définitives.

4. Mesures d'évitement et de réduction des effets potentiels du projet

Différentes mesures d'évitement et de réduction des effets potentiels sont prises en compte dès les premières phases de conception. Les mesures présentées ci-dessous illustrent l'importance portée à la mise en œuvre de la démarche « Éviter/réduire ».

a. Mesures d'évitement

Mesures d'évitement lors des choix d'implantation des installations de surface du centre de stockage

Dès les premières études visant à identifier et comparer différents sites pour l'implantation de ses installations, l'Andra a pris en compte l'activité agricole de la zone envisagée afin d'éviter les incidences de ses installations de surface lorsque c'était possible.

L'implantation des installations de surface a été progressivement précisée en prenant en compte les contraintes géologiques, environnementales..., et les attentes du territoire en particulier la demande de positionner l'entrée de la descenderie dans une zone limitrophe de la Meuse et de la Haute-Marne conduisant à implanter la descenderie à côté du laboratoire de Meuse/Haute-Marne sur des terres agricoles. Pour éviter le prélèvement d'une surface agricole plus importante, il a été retenu de situer la zone puits hors zone agricole, en zone boisée et de regrouper tous les déblais extraits lors du creusement sur cette zone y compris ceux issus des creusements des descenderies.

Quant aux ouvrages de stockage, ils sont implantés dans la couche géologique située à environ 500 mètres de profondeur et aucune restriction d'usage sur les parcelles agricoles situées à leur verticale n'est nécessaire.

Afin de prendre en compte les demandes exprimées lors du débat public confirmées par la délibération du Conseil Départemental de la Meuse du 17 décembre 2015 précisant que « le trafic d'engins de chantier et de matériaux entre les zones puits et descenderie devra se faire sans emprunter les routes départementales », plusieurs solutions ont été étudiées. La solution comprenant un convoyeur à bande transporteuse semi-enterrée avec piste poids lourds associée et un accès pour les véhicules légers en particulier des personnels a été retenue. Cette solution présente en effet l'avantage de réduire les impacts sur l'environnement et la santé en limitant les émissions de poussières induites par les matériaux et les véhicules, les nuisances sonores et les impacts paysagers notamment au regard de la solution proposant une installation aérienne.

Cette solution permet d'éviter la consommation de terre agricole. En effet, elle permet, en regroupant les moyens de liaison matériel/engins/véhicules d'optimiser l'emprise nécessaire à leur réalisation et d'éviter de multiplier les intersections avec les cheminements agricoles.

Pour la desserte ferroviaire du centre de stockage, plusieurs scénarios ont également été travaillés en lien avec le territoire. La solution retenue permet de relier directement le centre de stockage au réseau national (ligne ferroviaire 027000) via une installation terminale embranchée d'environ quatorze kilomètres. Cette liaison réutilise une ancienne plateforme ferroviaire sur une dizaine de kilomètres et pour sa plateforme logistique, un ancien site industriel, évitant ainsi, la mobilisation de surfaces agricoles.

Les implantations du centre de stockage Cigéo évitent les hangars et autres bâtis agricoles. Cette mesure d'évitement sera retenue autant que possible pour les autres opérations du projet global Cigéo.

Mesures d'évitement pour maintenir les exploitations agricoles en privilégiant les échanges de fonciers

Les acquisitions foncières des terrains correspondant à la zone d'implantation potentielle du centre de stockage ont été réalisées depuis plusieurs années en privilégiant les échanges à partir des réserves foncières constituées par anticipation avec l'appui de la Safer. Les échanges ont été menés en concertation avec chaque propriétaire et exploitant afin d'éviter le morcellement du parcellaire agricole et favoriser la restructuration des exploitations. C'est au total 32 exploitations et 56 propriétaires qui ont été concernés par ces échanges au sein de la zone d'intervention potentielle pour 134 parcelles cadastrales. Les surfaces échangées par exploitation varient de 0,3 % à plus de 30 % de la SAU (Surface Agricole Utile) avec une moyenne de 5 %.

Ainsi, pour les exploitations directement concernées par la zone d'implantation du centre de stockage, ce dispositif a permis d'éviter la perte de surface agricole sans apporter de nouvelles contraintes pour leur fonctionnement.

Mesures d'évitement des surfaces agricoles pour les mesures de compensation sylvicoles

L'implantation de la zone puits en milieu boisée nécessite la mise en œuvre de mesures de compensation sylvicole conformément aux dispositions réglementaires du code forestier (article L. 341-1 et suivants). Ces mesures seront déployées en privilégiant des surfaces déjà boisées et évitent les surfaces agricoles.

Mesures d'évitement des émissions dans l'environnement

Plusieurs mesures permettent d'éviter les émissions dans l'environnement susceptibles d'avoir des incidences sur les cultures et les prairies utilisées pour l'élevage. Par exemple, le choix d'une bande transporteuse couverte semi-enterrée pour assurer le transfert des matériaux entre la zone descenderie et la zone puits (liaison intersites) permet d'éviter à la fois les émissions de poussières et les gaz de combustion qui seraient normalement émis par les camions lors du transport de matériaux. Une attention particulière est également portée pour éviter les atteintes à la ressource en eau. Ainsi, en particulier, aucun rejet n'est, même après traitement, effectué dans les eaux souterraines. Tous les effluents liquides susceptibles de contenir d'éventuelles traces de radioactivité sont évacués vers des installations de traitement autorisées. Par ailleurs, les eaux pluviales des bassins versants interceptés par les zones d'interventions potentielles sont collectées à l'amont des plateformes de travaux, puis évacuées avec régulation et traitement. Ceci permet d'éviter l'inondation des zones de travaux par les eaux de ruissellement provenant des terrains amont et permet d'éviter également les risques de pollution de ces eaux.

b. Mesures de réduction

Gestion des réserves foncières

À chaque opération d'acquisition, les surfaces agricoles détenues par la Safer et l'Andra sont exploitées via des conventions d'occupation temporaire. Leurs exploitations et leurs productions réduisent l'impact de ces réserves sur l'économie du territoire.

Maintien des dessertes agricoles

La réalisation de la zone descenderie, de la liaison intersites et de l'installation terminale embranchée conduit à modifier les itinéraires utilisés par les agricultures pour rejoindre leurs parcelles.

- ✓ L'implantation de la zone descenderie entraine la disparition de l'itinéraire agricole utilisé en particulier entre Bure et Gillaumé (correspondant à l'utilisation de quatre chemins d'exploitation agricole (CA): chemin « des trois finages », chemin « de chez Chien », chemin « de Chapet » et chemin de la Chalêtre). Les autres chemins ruraux et agricoles d'exploitation, actuellement situés au niveau de la zone descenderie sont utilisés pour accéder à des parcelles localisées sur l'emprise du projet et qui n'auront donc plus d'usage agricole.
- ✓ Le tracé de la liaison intersites (LIS) croise et/ou modifie deux routes départementales (RD), onze chemins ruraux (CR), deux chemins d'exploitation agricole (CA).
- ✓ L'installation terminale embranchée (ITE) a des incidences sur les itinéraires empruntés par les agriculteurs. En effet l'infrastructure ferroviaire de l'ITE croise et/ou modifie trois routes départementales (RD), huit chemins ruraux (CR) et neuf chemins d'exploitation agricole (CA).

Toutes les dessertes agricoles ont été étudiées avec les exploitants et discutées dans le cadre de concertation afin de définir les rétablissements qui devraient être aménagés pour ne pas pénaliser l'accès aux parcelles pour les engins agricoles. Les rétablissements sont dimensionnés pour garantir leur franchissement par des matériels agricoles et pour assurer la continuité des chemins.

Maintien et rétablissement des réseaux de drainage

Les surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle de surface majoritairement localisées sur des sols superficiels argilo-calcaires ne sont pas drainées à l'exception d'un petit secteur sur la commune de Gillaumé. Le réseau de drainage de cette zone sera cartographié sur le terrain afin de procéder à son repérage avant travaux pour éviter qu'il ne soit endommagé ou à défaut de procéder à son remplacement pour garantir sa continuité et son efficacité.

Contrôle des risques de dissémination d'espèces invasives

Les espèces invasives indésirables ont fait l'objet d'un recensement. Pendant la phase d'aménagements préalables, les emplacements sont balisés et le traitement des zones concernées fait l'objet d'une gestion particulière afin de circonscrire leur prolifération et leur impact potentiel sur les productions agricoles. Ainsi, l'incidence résiduelle permanente est très faible.

Contrôle des émissions de particules et de gaz

Les dépôts de particules (en particulier les poussières) sur les cultures environnantes peuvent en effet avoir un impact indirect temporaire sur l'agriculture (gêne éventuelle de la photosynthèse, salissure des végétaux…), particulièrement en cas de conditions météorologiques défavorables. Pour réduire ces risques, des mesures spécifiques sont appliquées (arrosage des pistes, bâchage des camions, capotage, limitation des vitesses de circulation sur les zones de travaux…).

Les émissions d'éléments radioactifs du centre de stockage Cigéo sont très faibles et correspondent principalement à des gaz qui ne peuvent être retenus par les colis de déchets radioactifs et les filtres. Rejetés dans l'air, ils peuvent se déposer au sol et se retrouver dans les produits agricoles en quantités encore plus faibles. Déjà présents naturellement dans les produits agricoles à des concentrations extrêmement faibles, le carbone 14 et le tritium pourraient y être détectés mais toujours avec des concentrations extrêmement faibles, sans incidence sur la qualité des productions agricoles. Les mesures de réduction liées aux émissions radioactives reposent principalement sur la solidification et l'immobilisation des déchets radioactifs, le respect des règles en termes d'emballage des colis de déchets radioactif, la gestion des émissions radioactives (systèmes de ventilation, avec filtration à très haute efficacité) et la hauteur des émissaires de rejets fournissant des conditions de dispersion optimales.

Suivi de la qualité des produits

Différentes productions agricoles végétales et laitières font l'objet d'analyses permettant d'identifier la présence d'éléments radioactifs ou de polluants. Des prélèvements et des analyses seront poursuivis tout au long de la vie du centre de stockage afin de fournir des éléments d'appréciation de la qualité des produits.

Mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts

Pour réduire les incidences agricoles des mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts sur des surfaces agricoles, l'Andra a privilégié des sites non exploités ou à faible potentiel de production au sein des réserves foncières déjà constituées. De plus, ces mesures permettent de maintenir une valorisation agricole réduisant les effets négatifs de cette compensation environnementale pour l'économie agricole qui en dépend.

Des options d'implantation et de conception qui auraient pu contribuer à minimiser le prélèvement de surface agricole et à réduire ses effets sur l'économie agricole n'ont toutefois pas été retenues à l'issue des analyses multicritères et des échanges avec les acteurs du territoire. Ainsi, concernant l'implantation des installations du centre de stockage, l'aménagement des installations de surface hors zone agricole a rapidement été abandonné pour privilégier une répartition des installations entre des surfaces agricoles et des surfaces boisées. Par ailleurs, pour le transport des matériaux entre la zone descenderie et la zone puits, l'utilisation d'une bande transporteuse aérienne par câble correspondait à la solution la moins consommatrice de terres agricoles. Mais, c'est un convoyeur semi-enterré qui a été préféré lors des réunions de concertation afin de favoriser l'intégration paysagère, la réduction des nuisances sonores et des émissions de poussières.

5. Mesures de compensation agricole collective

Malgré la mise en œuvre de mesures d'évitement et de réduction, il n'en demeure pas moins que le projet global Cigéo induit des pertes économiques liées au retrait de surfaces agricoles, à la réduction des aires d'appellation fromagères et aux mesures compensatoires environnementales. Des mesures de compensation doivent être mises en œuvre pour conforter l'économie agricole du territoire concerné.

a. Dispositif de compensation

Parmi les modalités de compensation étudiées, la recherche de nouvelles surfaces à exploiter s'est révélée infructueuse (ancien terrain militaire, friches…). La solution privilégiée consiste à la mise en place d'un fonds de compensation. Cette source de financement est orientée vers des projets économiques novateurs et ne devant pas se substituer à d'autres dispositifs de soutien déjà en vigueur (subventions FEADER, Région, Agence de Bassin…). La mise en œuvre de cette compensation ne doit pas remettre en cause la viabilité économique des filières existantes. Elle s'inscrit dans un contexte agricole sous tension et en pleine évolution face aux nouvelles contraintes économiques, environnementales et sociétales.

b. Évaluation du montant de compensation

Pour établir le montant global du fonds alloué à la compensation collective agricole, le calcul repose sur une approche mixte prenant en compte d'une part les emprises foncières définitives (347 à 415 ha) proratisées par la perte financière annuelle et d'autre part l'application d'un coefficient de temporalité de 5 ans à 10 ans afin d'intégrer les délais nécessaires au développement des projets agricoles (cf. Tableau 1.1-2 et Tableau 1.1-3).

Tableau 1.1-2 Emprises agricoles du projet global Cigéo

	Emprises agricoles	
	Emprise minimale (ha)	Emprise maximale (ha)
Emprises agricoles du projet global Cigéo	347	415
Mesures compensation environnementales	166	
Total	**347**	**415**

Tableau 1.1-3 Estimation annuelle de la perte financière pour les activités agricoles du territoire

Incidences	Estimations de perte annuelle	Hypothèses sur la surface agricole impactée		Montants estimés	
		minimale	maximale	minimal	maximal
Perte de richesse sur l'exploitation	369 €/ha	347	415	128 043 €	153 135 €
Économie des filières	510 €/ha	347	415	176 970 €	211 650 €
Réduction périmètre AOC-AOP-IGP (SIQO)	140 €/ha	347	415	48 580 €	58 100 €

Incidences	Estimations de perte annuelle	Hypothèses sur la surface agricole impactée		Montants estimés	
		minimale	maximale	minimal	maximal
Modification des pratiques agricoles pour les mesures environnementales	100 €/ha	166		16 600 €	
Total				**370 193 €**	**439 485 €**

Ainsi, le montant total de la compensation pourrait varier de 1,8 à plus de 4,4 millions d'euros (cf. Tableau 1.1-4). Ce montant sera ajusté en fonction des emprises définitives du projet global Cigéo. Compte-tenu des enjeux agricoles du territoire et de l'importance de la compensation, un coefficient de temporalité de 10 ans a été fixé.

Compte-tenu de l'importance des enjeux agricoles du territoire concerné, le montant maximum de la compensation collective est évalué à 4,4 millions d'euros

Tableau 1.1-4 Estimation la perte financière globale

	Estimations perte annuelle	Durée de développement	
		5 ans	10 ans
Surface minimale (347 ha)	370 193 €	1 850 965 €	**3 701 930 €**
Surface maximale (415 ha)	439 485 €	2 197 425 €	**4 394 850 €**

c. Constitution du fonds de compensation

Afin de garantir la constitution du fonds de compensation, différentes modalités sont envisagées en fonction de l'évolution des textes applicables :

- ✓ Suite à la loi n° 2020-734 du 17 juin 2020[3], l'Andra Établissement public industriel et commercial serait tenue de déposer sur le compte du Trésor ses disponibilités. Ces dispositions législatives devraient intervenir d'ici la fin de l'année 2020. Le fonds de compensation pourrait rentrer dans le champ d'application de cette loi. Toutefois, l'Andra envisagerait alors de demander à bénéficier d'une dérogation auprès de l'AFT[4] pour consigner le fonds de la compensation agricole collective auprès de la Caisse des dépôts et consignations.

[3] Loi n° 2020-734 du 17 juin 2020 – Article 58 : I - Dans les conditions prévues à l'article 38 de la Constitution, le Gouvernement est autorisé à prendre par ordonnances, dans un délai de six mois à compter de la publication de la présente loi, les mesures relevant du domaine de la loi destinées, afin d'améliorer la gestion de la trésorerie de l'État, à prescrire, sous réserve de l'article 26 de la loi organique n° 2001-692 du 1er août 2001 relative aux lois de finances, le dépôt sur le compte du Trésor des disponibilités des personnes morales soumises aux règles de la comptabilité publique et d'organismes publics ou privés, établis par la loi, chargés d'une mission de service public et dont les disponibilités sont majoritairement issues de ressources prévues par la loi, à l'exclusion des organismes qui gèrent un régime de retraite, des organismes listés à l'article L. 312-1 du code de l'action sociale et des familles et des caisses créées en application du 9° de l'article 53 de la loi n° 71-1130 du 31 décembre 1971 portant réforme de certaines professions judiciaires et juridiques.

[4] AFT : L'Agence France Trésor est un service à compétence nationale français chargé de gérer la dette et la trésorerie de l'État

- ✓ L'Andra étudie, en concertation avec la Caisse des dépôts et consignations[5], la possibilité de lui verser le fonds de compensation dans le cadre du dispositif légal de la consignation. En application de l'article L. 518-17 du code monétaire et financier, la CDC est en effet chargée de recevoir les consignations ordonnées par une décision administrative. Ce mécanisme a déjà été mis en œuvre, au titre de la compensation collective agricole, dans trois départements (Indre-et-Loire, Somme, Haute Garonne). Après la signature d'une convention, le Préfet prend un arrêté qui fixe le principe et les modalités de la consignation du fonds de compensation auprès de la CDC sur le fondement de l'article L. 518-17 du code monétaire et financier. L'Andra souhaite privilégier cette solution.
- ✓ À défaut de consignation du fonds de compensation auprès de CDC ou de son dépôt auprès du Trésor Public, l'Andra procéderait à l'ouverture d'un compte dédié auprès d'un organisme bancaire. Ce compte serait géré de façon indépendante des autres comptes bancaires de l'Andra. L'exécution et la signature des règlements à partir de ce compte seraient encadrées par des pouvoirs bancaires stricts garantissant une sécurité optimale dans la chaine des règlements.

La constitution du fonds de compensation pourra intervenir au plus tôt après l'obtention de la Déclaration d'utilité publique (DUP) et des premières autorisations de travaux (environnementales et d'urbanisme) concernant des terres agricoles. Ces premières autorisations devraient intervenir à l'horizon 2023.

d. Gestion du fonds de compensation et de la compensation collective

La gestion de ce fonds et la mise en œuvre de la compensation collective agricole seront soumis à l'avis d'un comité de pilotage réunissant les représentant de l'État, les organisations agricoles, les représentants des filières et l'Andra. Il sera proposé aux membres du groupe de travail ayant participé à l'élaboration de cette étude, de se réunir à nouveau pour établir la composition du comité de pilotage. Une vigilance toute particulière sera portée pour s'assurer d'une bonne représentativité du territoire parmi les membres désignés.

Le déblocage des fonds alloués au financement des projets retenus sera exécuté après avis du comité de pilotage.

- ✓ Dans le cas d'une consignation du fonds de compensation auprès de la CDC, les décisions du comité de pilotage concernant les demandes de versements feront l'objet d'un arrêté préfectoral.
- ✓ Dans le cas d'un dépôt du fonds de compensation au Trésor ou de la création d'un compte Andra dédié, les décisions du comité de pilotage concernant les demandes de versements seront remises au donneur d'ordre de l'Andra ayant les pouvoirs pour faire procéder aux demandes de versements. Les Commissaires aux comptes de l'Andra effectueront une revue annuelle de la tenue du compte bancaire et des règlements effectués. Les relevés du compte bancaire seront mis à la disposition du Comité de Pilotage et un reporting annuel comportant l'analyse du compte bancaire et de ses mouvements sera effectué.

Le comité de pilotage aura en particulier pour missions :

- d'établir les critères d'éligibilité au fonds de compensation,
- d'organiser la mise en œuvre des appels à projets
- de veiller à ce que le fonds de compensation profite au plus près du territoire impacté.

Cette compensation n'a pas vocation à perdurer mais à aider au développement de projets novateurs pour le territoire concerné. L'effectivité de la compensation sera liée à l'utilisation de l'intégralité du fonds et ne sera pas limitée à une échelle de temps.

Tout au long du processus de mise en œuvre de la compensation agricole, un suivi des projets et une évaluation des retombées économiques seront établis afin d'en tenir informé le Préfet.

---

[5] Caisse des dépôts et consignations : la Caisse des dépôts et consignations (CDC) est une institution financière publique qui exerce des activités d'intérêt général.

Cadre réglementaire général

Principe de l'étude préalable agricole

Les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation, sont susceptibles d'avoir des conséquences négatives importantes sur l'économie agricole font l'objet d'une étude préalable (article L. 112-1-3 du code rural et de la pêche maritime).

Cette étude a pour objectif d'évaluer les incidences du projet sur l'économie agricole du territoire concerné et de définir si nécessaire les mesures compensatoires collectives à mettre en œuvre pour consolider l'économie agricole du territoire. Ces mesures compensatoires sont indépendantes des mesures compensatoires concernant la destruction des espaces naturels et forestiers prévues dans le code de l'environnement et le code forestier.

Étude préalable agricole et évaluation environnementale du projet global Cigéo

En application des articles L. 122-1 et suivants et l'annexe à l'article R. 122-2 du code de l'environnement, la réalisation du projet global Cigéo est soumise à une évaluation environnementale comprenant la réalisation d'une étude d'impact.

L'étude d'impact est présentée à l'appui du dossier de demande de déclaration d'utilité publique et du dossier de mise en compatibilité des documents d'urbanisme rendue nécessaire par la réalisation du centre de stockage Cigéo

Les documents évaluant les impacts des projets sur l'environnement prescrits par le code de l'environnement tiennent lieu de l'étude préalable agricole s'ils satisfont à ses prescriptions (article D. 112-1-20 du code rural et de la pêche maritime). L'Andra a choisi, pour la bonne information du public et des services instructeurs, de produire l'étude préalable agricole sous la forme d'un document séparé afin d'en simplifier la lisibilité et l'accessibilité.

Cette étude préalable agricole constituera une annexe du dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo et à la mise en compatibilité des documents d'urbanisme. Les avis des CDPENAF et des Préfets des deux départements concernés établis suite à la saisine du Préfet de la Haute-Marne seront présentés également dans ce dossier.

Élaboration de l'étude préalable agricole

Pour établir cette étude des effets positifs et négatifs du projet global Cigéo sur l'économie agricole du territoire, un groupe de travail a été constitué avec la DRAAF[6] les DDT[7] 52 et 55 et les Chambres Départementales d'agriculture de Meuse et de Haute-Marne. Ce groupe s'est réuni à plusieurs reprises de mai 2017 à septembre 2020. Cette analyse est complétée d'une expertise menée par le centre de gestion agricole (CERFRANCE Adhéo[8]) afin établir les données d'entrée à partir d'analyse comptable de groupe d'exploitations de références. L'INAO[9] et l'ODG[10] ont également été sollicités pour l'évaluation des enjeux qualité et image des productions agricoles de la zone de proximité à du centre de stockage

[6] DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
[7] DDT : Directions départementales des territoires
[8] CERFRANCE Adhéo : Association de Gestion et de Comptabilité agréé
[9] INAO : Institut national de l'origine et de la qualité
[10] ODG : Organismes de Défense et de Gestion DU Brie de Meaux

Cigéo qui couvre plusieurs aires d'appellation (AOC[11]-AOP[12] et IGP[13] Fromagère en particulier). La FDPL 52[14] a été associée au groupe de travail pour apporter son expertise au nom des producteurs laitiers du territoire.

Ces travaux ont été présentés à plusieurs reprises aux élus des chambres d'agriculture, aux exploitants agricoles du territoire concerné, à la DRAAF et à la mission Cigéo afin de partager chaque étape de cette évaluation et de préparer les modalités de compensation.

Cerfrance-ADHEO : Cerfrance Adheo est une Association de Gestion et de Comptabilité créée par des agriculteurs, des artisans, des commerçants et des prestataires de services avec 5 sites en Meurthe-et-Moselle et 4 en Meuse dont celui de Bar-le-Duc. Cerfrance Adheo est inscrite au Conseil régional de l'Ordre des Experts Comptables et membre du réseau Cerfrance.

CDA : les Chambres Départementales d'Agriculture de Meuse et de Haute-Marne sont des organismes consulaires en charge de représenter l'ensemble des différents agents économiques de l'agriculture : exploitants agricoles, mais aussi propriétaires, salariés, et organisations agricoles telles que les mutualités, coopératives, crédits et syndicats à vocation générale et d'accompagner les exploitants agricoles dans leur développement.

CETIAC : le cabinet CETIAC, Compensation et Études d'Impacts Agricoles – Conseil, dont le siège est à Lyon partage son expertise pour la réalisation de votre étude préalable agricole et de compensation agricole collective.

CCI : les Chambres de Commerce et d'Industrie de Meuse et de Haute-Marne ont des organismes consulaires chargés de représenter les intérêts des entreprises commerciales, industrielles et qui mènent des actions en faveur du développement des entreprises de leur territoire.

DDT : les Directions départementales des territoires de Meuse et de Haute-Marne mettent en œuvre dans leur département les politiques relatives à la promotion du développement durable, au développement et à l'équilibre des territoires urbains et ruraux grâce aux politiques agricole, d'urbanisme, de logement, de construction et de transports, à la prévention des risques naturels, aux déplacements et aux transports.

DRAAF : la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) Grand-Est existe officiellement depuis le 1er janvier 2016. Elle est née de la fusion des DRAAF des anciennes régions Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine. Elle a son siège à Châlons-en-Champagne. Placée sous l'autorité du préfet de région, la DRAAF est un service déconcentré du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.

FDPL 52 : la Fédération Départementale des Producteurs de Lait de Haute-Marne est le syndicat professionnel. Il intervient pour défendre les intérêts des producteurs laitiers du département

INAO : l'Institut national de l'origine et de la qualité, est un établissement public à caractère administratif français placé sous la tutelle du ministère de l'Agriculture. Il accompagne les producteurs qui s'engagent dans les démarches de qualité et gère plus globalement les signes d'identification de l'origine et de la qualité pour les produits fabriqués en France qui sont des signes officiels en France.

ODG : l'Organisme de Défense et de Gestion est une structure associative interprofessionnelle établie en 2008 qui regroupe des opérateurs de la filière : producteurs de lait, fabricants et affineurs. Cet organisme regroupe 2 sections : une section Brie de Meaux et une section Brie de Melun. Sa mission consiste à défendre les intérêts collectifs professionnels des diverses professions concernées par la

[11] AOC : l'appellation d'origine contrôlée (AOC) est un label permettant d'identifier un produit dont les étapes de fabrication (production et transformation) sont réalisées dans une même zone géographique et selon un savoir-faire reconnu
[12] AOP : l'appellation d'origine protégée (AOP) désigne un produit dont toutes les étapes de production sont réalisées selon un savoir-faire reconnu dans une même aire géographique
[13] IGP : l'indication géographique protégée (IGP) identifie un produit agricole, brut ou transformé, dont la qualité, la réputation ou d'autres caractéristiques sont liées à son origine géographique
[14] FDPL 52 : la fédération Départementale des Producteurs de lait de Haute-Marne

production, la transformation, l'affinage et la vente des Fromages Brie de Meaux. Il contrôle également le respect des contraintes de production à tous les niveaux (en production de lait, transformation et affinage) pour protéger l'Appellation d'Origine Protégée Brie de Meaux.

Préfecture et Mission Cigéo (Meuse) : le Préfet coordonnateur du centre de stockage Cigéo a été chargé par le premier Ministre de mener les démarches d'élaboration d'un contrat de développement du territoire et d'accompagner l'Andra dans ses démarches pour mener son projet en interaction avec les services de l'État.

1

Description du projet et délimitation du territoire concerné

1.1	Présentation de l'Andra	32
1.2	Présentation du projet global Cigéo	33
1.3	Description des installations du projet global	40
1.4	Phasage du centre de stockage Cigéo	59
1.5	Besoins fonciers du projet global Cigéo	63
1.6	Délimitation du territoire agricole concerné	72

1.1 Présentation de l'Andra

L'Andra, Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs est un établissement public national à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle des ministères en charge de l'énergie, de l'environnement et de la recherche. Créée en 1979, l'Andra est devenue un établissement public industriel et commercial depuis la loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, dont les missions ont été complétées par la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (cf. Figure 1.1-1).



Figure 1.1-1 Filières de gestion développées pour les différentes catégories de déchets radioactifs

L'article L. 542-12 du code de l'environnement précise que » *L'ANDRA, établissement public industriel et commercial, est chargée des opérations de gestion à long terme des déchets radioactifs, et notamment :*

1. D'établir, de mettre à jour tous les trois ans et de publier l'inventaire des matières et déchets radioactifs présents en France ainsi que leur localisation sur le territoire national, les déchets visés à l'article L. 542-2-1 étant listés par pays (dont la dernière édition est parue en 2018) ;
2. De réaliser ou de faire réaliser, conformément au plan national prévu à l'article L. 542-2-1, des recherches et des études sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde et d'assurer leur coordination ;
3. De contribuer, dans les conditions définies à l'avant-dernier alinéa du présent article, à l'évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue, selon leur nature ;
4. De prévoir, dans le respect des règles de sûreté nucléaire, les spécifications pour le stockage des déchets radioactifs et de donner aux autorités administratives compétentes un avis sur les spécifications pour le conditionnement des déchets ;
5. De concevoir, d'implanter, de réaliser et d'assurer la gestion des centres d'entreposage ou des centres de stockage des déchets radioactifs compte tenu des perspectives à long terme de production et de gestion de ces déchets ainsi que d'effectuer à ces fins toutes les études nécessaires ;

6. D'assurer la collecte, le transport et la prise en charge des déchets radioactifs et la remise en état et le cas échéant la gestion, de sites pollués par des substances radioactives sur demande et aux frais de leurs responsables ;
7. De mettre à la disposition du public des informations relatives à la gestion des déchets radioactifs et de participer à la diffusion de la culture scientifique et technologique dans ce domaine ;
8. De diffuser à l'étranger son savoir-faire. »

L'Andra exploite deux centres de stockage de surface dans l'Aube, l'un dédié aux déchets de faible et moyenne activité à vie courte, le Centre de Stockage de l'Aube (CSA), l'autre dédié aux déchets de très faible activité, le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires).

L'Andra gère également le Centre de Stockage de la Manche (CSM), premier centre français de stockage en surface de déchets faiblement et moyennement radioactifs, aujourd'hui en phase de fermeture.

L'Andra étudie et conçoit des solutions de gestion à long terme pour les déchets qui n'en ont pas encore. Il s'agit, d'une part des déchets de faible activité à vie longue, d'autre part des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue.

Le projet de centre de stockage Cigéo, projet de centre de stockage de déchets radioactifs français de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), est le fruit des études et concertations menées pour répondre à la mission 5 confiée par l'État à l'Andra.

Pour conduire ses missions, l'Andra s'appuie en outre sur différents comités qui éclairent ses choix et ses décisions :

- un conseil scientifique ;
- un comité industriel ;
- un comité éthique et société[15].

1.2 Présentation du projet global Cigéo

Cigéo est le projet de centre de stockage réversible des déchets radioactifs français de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) étudié et conçu par l'Andra dans le cadre des dispositions du code de l'environnement (articles L. 542-1-2 et L. 542-12).

Ces déchets sont issus principalement de la production d'énergie nucléaire, mais aussi de la Défense nationale, de l'industrie, des secteurs de la santé et de la recherche.

Les déchets HA présentent un niveau de radioactivité très élevé (de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme) et contiennent des quantités importantes de radionucléides à période longue. Ces déchets sont essentiellement des résidus non valorisables, extraits du combustible nucléaire lors de son traitement, puis vitrifiés.

Les déchets MA-VL présentent un niveau de radioactivité élevé (de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme) et ils contiennent aussi des quantités importantes de radionucléides à période longue. Il s'agit principalement :

- de structures métalliques séparées lors du traitement des combustibles nucléaires ;
- de composants métalliques ayant séjourné dans des réacteurs nucléaires ;
- de déchets issus de la maintenance des installations nucléaires et de leur démantèlement ;

[15] La création du Comité éthique et société, organe de démocratie environnementale rattaché au Conseil d'administration, est un engagement pris par l'Andra suite au débat public de 2013. Depuis 2015, il a notamment pour mission d'éclairer, faire progresser, donner des avis et évaluer l'Agence sur le dialogue et l'implication des parties prenantes et intéressées dans ses activités et ses projets.

- de résidus de la décontamination des effluents d'exploitation des installations nucléaires.

Les déchets HA et MA-VL concentrent plus de 99 % de la radioactivité de la totalité des déchets radioactifs dans un volume ne représentant qu'un peu plus de 3 % du volume total. Leur niveau de radioactivité leur confère une forte dangerosité. Un individu qui se placerait au voisinage immédiat de déchets HA, sans protection, aurait une espérance de vie de quelques minutes du fait de leur très fort rayonnement. Les déchets MA-VL sont en général moins irradiants, mais ils restent dangereux. Une ingestion ou une inhalation de particules de déchets HA et MA-VL pourrait entraîner une irradiation interne de l'organisme et des conséquences mortelles.

Même si la radioactivité des déchets HA et MA-VL décroit, les échelles de temps associées à leur dangerosité sont très longues. En ordre de grandeur, ce n'est qu'au bout de plusieurs centaines de milliers d'années que la radioactivité moyenne des déchets MA-VL approchera la radioactivité initiale des déchets de faible activité qui sont actuellement stockés en surface.

Cigéo est donc un projet de centre de stockage en couche géologique profonde, conçu pour isoler les déchets HA et MA-VL et pour confiner leur radioactivité dans une formation géologique stable. Son objectif est de protéger durablement la santé des personnes et l'environnement des risques générés par ces déchets. Ce projet limite les charges qui seront supportées par les générations futures conformément aux exigences du code de l'environnement (article L. 542-1).

1.2.1 Localisation du centre de stockage Cigéo

Le projet de centre de stockage Cigéo est situé dans la région Grand-Est de la France à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne.

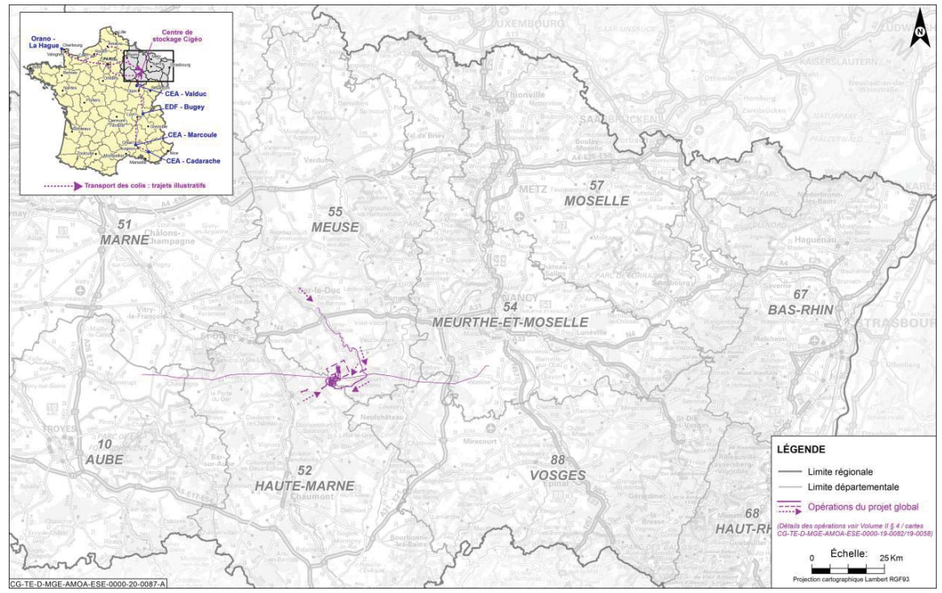


Figure 1.2-1 Localisation du projet de centre de stockage Cigéo

1.2.2 Principe du stockage géologique

Le stockage géologique consiste à placer les colis de déchets radioactifs dans des ouvrages construits dans le sous-sol, à une profondeur permettant d'isoler les déchets de l'homme et de l'environnement, pour tirer parti des propriétés naturelles des roches sur de grandes échelles de temps.

Dans un stockage géologique :

- Le rayonnement des déchets ne peut pas atteindre les êtres vivants compte tenu de la très forte épaisseur de roche les séparant de la surface du sol ;
- La profondeur et la stabilité des formations géologiques choisies mettent les déchets à l'abri des perturbations d'origines naturelles (intempéries, érosion, inondation, désertification…) et humaine (chantiers, destruction, pillage, agressions…) susceptibles de survenir à la surface ;
- Les roches choisies sont stables depuis des dizaines de millions d'années et les prévisions permettent de prévoir le maintien de cette stabilité géologique sur des millions d'années à venir (phénomènes d'érosion, de soulèvement, de volcanisme liés aux mouvements tectoniques…). Les propriétés de ces roches peuvent être étudiées de façon approfondies par des investigations depuis la surface et dans des laboratoires dédiés.
- La profondeur du stockage réduit l'éventualité d'une intrusion humaine involontaire, car les forages à de telles profondeurs sont très peu fréquents. En effet, ils sont coûteux et ne sont effectués qu'avec des intentions précises d'investigation géologique. Les zones recherchées pour les stockages géologiques ne recèlent aucune ressource naturelle exceptionnelle dans leur sous-sol. Le choix de ce type de zone, pauvre en ressource, vise à réduire encore le risque qu'un forage profond soit réalisé à leur proximité. Ainsi, même si les restrictions d'usage du terrain en surface, voire la mémoire même de l'existence du stockage, disparaissent avec le temps, la probabilité d'intrusion humaine involontaire dans un stockage géologique est très réduite par rapport à un ouvrage de surface ou proche de la surface. Compte tenu de la conception du stockage, même si un forage devait involontairement le traverser, les conséquences à long terme resteraient limitées.

Le principe du stockage géologique est de pouvoir accueillir les déchets sans limite de temps. C'est ce qui le différencie du principe de l'entreposage qui est nécessairement temporaire[16].

Le stockage géologique répond ainsi complètement à l'objectif défini dans le code de l'environnement (article L. 542-1 du code de l'environnement) : « *protéger durablement l'homme et de l'environnement, en isolant les déchets dangereux et en confinant durablement les substances dangereuses qu'ils contiennent*. » L'ASN[17] considère qu'il constitue « *une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable* » (Avis du 1er février 2006 (4)).

1.2.3 Les déchets destinés au centre de stockage Cigéo

Les déchets destinés au centre de stockage Cigéo sont les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), dont le niveau de radioactivité et la durée de vie ne permettent pas de les stocker de manière sûre en surface ou à faible profondeur.

Les déchets HA (déchets de haute activité) sont essentiellement des résidus qui ont été extraits des combustibles nucléaires usés lors de leur retraitement (produits de fission et actinides mineurs), puis vitrifiés.

Les déchets MA-VL se composent principalement :

- de structures métalliques séparées lors du traitement des combustibles nucléaires ;

[16] L'article L. 542-1-1 du code de l'environnement définit l'entreposage de matières ou de déchets radioactifs comme « *l'opération consistant à placer ces substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, dans l'attente de les récupérer* ». La directive 2011/70/EURATOM du 19 juillet 2011 (3) définit l'entreposage comme « *le maintien* […] *de déchets radioactifs dans une installation, avec intention de retrait ultérieur*. » Elle indique dans ses considérants que « *l'entreposage de déchets radioactifs, y compris à long terme, n'est qu'une solution provisoire qui ne saurait constituer une alternative au stockage* ». Cette définition est équivalente à celle donnée par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA).

[17] ASN : l'Autorité de Sûreté Nucléaire, au nom de l'État, réglemente et contrôle la sûreté nucléaire et la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Description du projet et délimitation du territoire concerné

- de composants métalliques ayant séjourné dans des réacteurs nucléaires ;
- de déchets issus de la maintenance des installations nucléaires et de leur démantèlement ;
- de résidus de la décontamination des effluents d'exploitation des installations nucléaires.

Le centre de stockage Cigéo est conçu pour accueillir les déchets d'un inventaire de référence présenté lors du débat public de 2013. Cet inventaire de référence repose sur l'inventaire des déchets HA et MA-VL déjà produits (environ 40 % des déchets HA et 60 % des déchets MA-VL) et ceux qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes et par celles dont la création a été autorisée fin 2016 (EPR de Flamanville, ITER, réacteur expérimental Jules Horowitz), jusqu'au terme prévisible de leur fonctionnement, puis de leur démantèlement.

Le volume des déchets radioactifs de l'inventaire de référence, destiné à être stocké dans Cigéo si le centre de stockage est autorisé, est de l'ordre de 83 000 m³. Il correspond à environ 225 000 colis stockés.

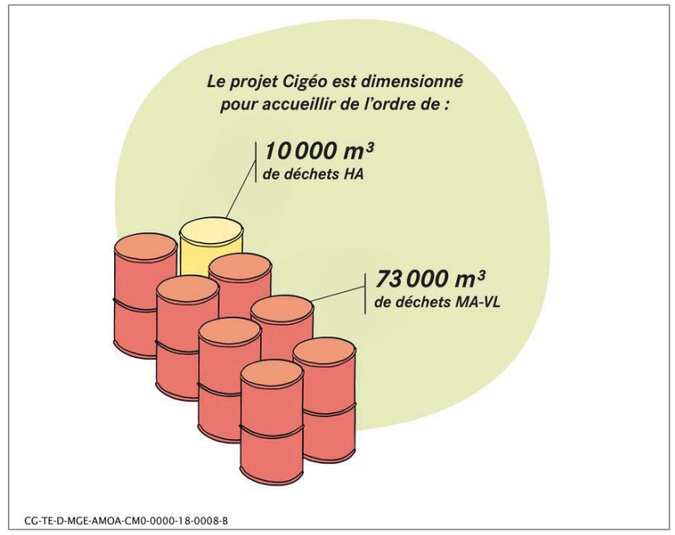


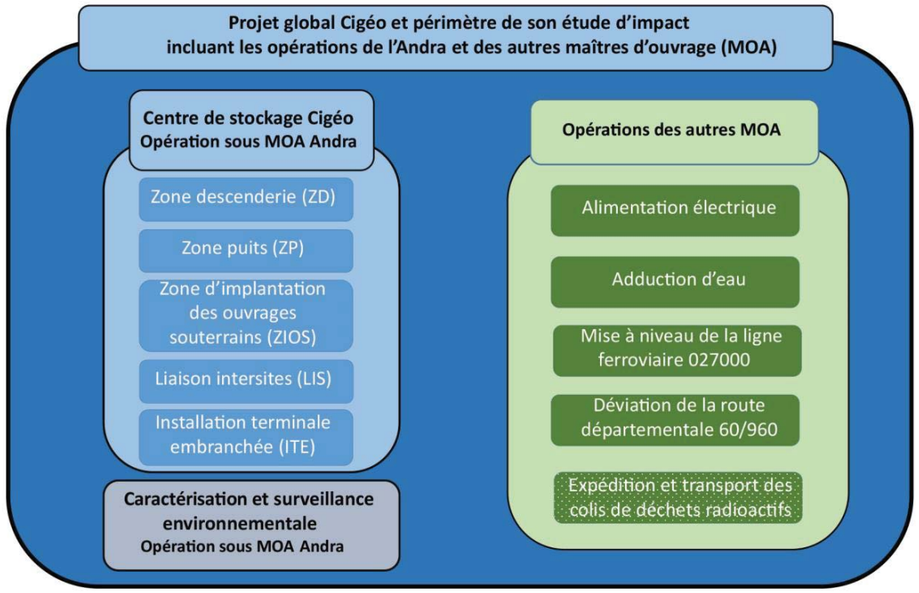
Figure 1.2-2 Estimation des volumes de déchets HA et MA-VL à stocker dans Cigéo

L'Andra conçoit le centre de stockage Cigéo de façon à ce qu'il puisse évoluer au fur et à mesure de sa construction par phases successives pour prendre en compte d'éventuelles évolutions en matière d'inventaire des déchets stockés, liées notamment aux stratégies industrielles et énergétiques ou à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets. À ce stade, ces évolutions sont étudiées au travers d'un inventaire de réserve et d'études d'adaptabilité, qui seront présentées dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, afin de garantir la capacité du projet à évoluer et s'adapter à des choix de politique énergétique. C'est un volet important de la réversibilité.

1.2.4 Le projet global Cigéo

Le « projet global Cigéo » comprend les opérations (installations, aménagements et constructions d'ouvrages) nécessaires à la réalisation et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo. C'est l'ensemble de ces opérations qui constitue le périmètre de l'étude d'impact et de la présente étude. Il est couvert par la partie bleu marine de la figure 1.2-3 ci-après. Il comprend des opérations sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra, couvertes par les parties bleu ciel et grises et les opérations sous maîtrises d'ouvrages tierces couvertes par la partie verte. La partie bleu ciel couvre le centre de stockage Cigéo.

La partie grise couvre des opérations effectuées par l'Andra à l'extérieur du futur centre de stockage pour la caractérisation et la surveillance environnementale.



CG-00-D-MGE-AMOA-CM0-0000-19-0029.A

Figure 1.2-3 Projet global Cigéo et périmètre de son étude d'impact

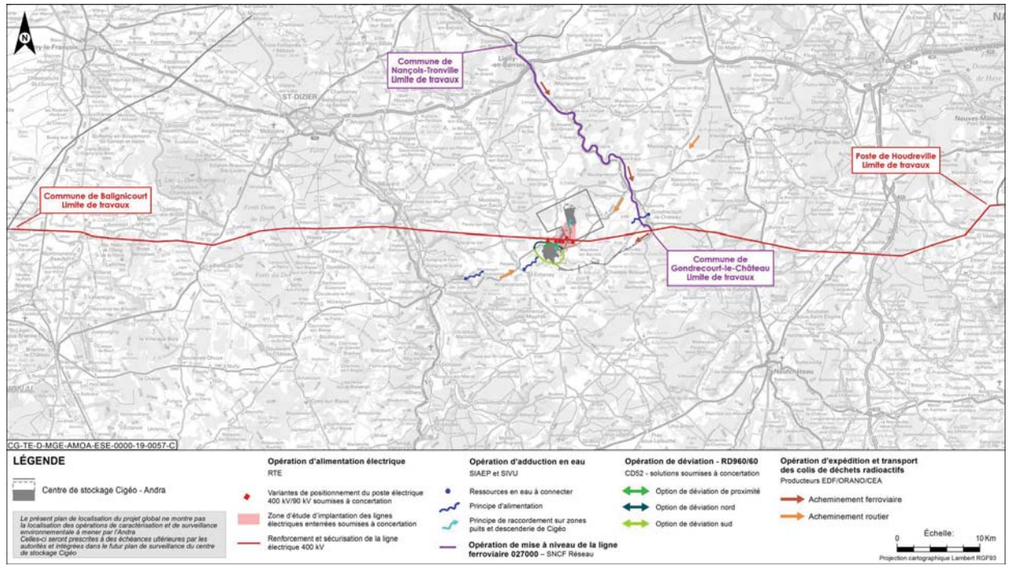


Figure 1.2-4 Implantation des différentes opérations du projet global Cigéo

1.2.5 Le financement du centre de stockage Cigéo

La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 prévoit un cadre pour le financement du centre de stockage Cigéo avec la création de plusieurs fonds spécifiques destinés à financer les études et les recherches, les études de conception et travaux préalables, ainsi que la construction, l'exploitation et la fermeture du centre de stockage Cigéo.

L'ensemble de ces dépenses sera financé intégralement par les producteurs de déchets, conformément au principe « pollueur-payeur » (articles L. 110-1 et L. 542-1 du code de l'environnement). Les principes de financement du centre de stockage Cigéo sont fixés par les articles L. 542-12-2 et 3 du code de l'environnement.

Le financement du projet de centre de stockage Cigéo est assuré par :

- un fonds destiné à financer les études nécessaires à la conception des installations de stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL, ainsi que les opérations et travaux préalables au démarrage de la phase de construction de ces installations ;
- un fonds destiné au financement de la construction, de l'exploitation, de la fermeture, de l'entretien et de la surveillance des installations de stockage des déchets de HA et MA-VL.

1.2.6 Cigéo, un projet développé en dialogue avec la société

Le projet de centre de stockage Cigéo repose sur 25 années d'échanges, d'études et de décisions politiques qui se sont mutuellement nourris. La montée en puissance du dialogue environnemental dans la société et dans les textes réglementaires s'est aussi ressentie dans la manière dont l'État puis l'Andra ont mené la concertation sur le projet.

Suite aux difficultés rencontrées lors des premières prospectives des années 1980, le choix du site de Meuse/Haute-Marne, regroupement des deux candidatures originelles, a été progressivement défini au travers d'un processus incluant des échanges conduits à partir de la loi dite Bataille de 1991. De la même manière, les critères formulés par les participants à la concertation locale de 2009 ont bien été pris en compte par l'Andra pour proposer plusieurs scénarios d'implantation de la ZIRA[18] et des installations de surface. La proposition d'implantation de la ZIRA a été validée en 2010 par le Gouvernement et le choix des ZIIS a été officiellement acté le 4 février 2013 par le Comité de haut niveau présidé par la ministre de l'environnement.

Toutes ces années de concertation ont naturellement permis de discuter de l'opportunité du stockage des déchets nucléaires en couche géologique profonde, au fur et à mesure de l'avancée de la recherche sur les options de gestion des déchets radioactifs. Bien qu'actée en 2006 par le Parlement comme solution de référence pour les déchets radioactifs HA et MA-VL, la solution du stockage géologique profond constitue le sujet principal des échanges du débat public de 2013. Les suites données au débat public de 2013 illustrent la volonté de l'Andra d'offrir toutes les conditions possibles pour que la société puisse dialoguer et débattre des choix à opérer. La loi de 2016 sur les modalités de création du projet de centre de stockage Cigéo vient actualiser certaines dispositions de la loi de 2006 et préciser certains aspects du projet (réversibilité, phase industrielle pilote, calendrier) pour prendre en compte les suites du débat public de 2013.

Concernant la sûreté du centre de stockage Cigéo, l'Andra a toujours tenté d'apporter réponse et transparence, en particulier lors du débat public de 2013 et globalement dans tous ses efforts de communication à l'attention du territoire de Meuse/Haute-Marne. L'Agence a ainsi contribué à l'ouverture à la société des sujets liés aux déchets produits par les activités nucléaires en France, en réponse aux

[18] ZIRA : zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) de 30 km²

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Description du projet et délimitation du territoire concerné

attentes citoyennes ainsi qu'aux lois adoptées (telle la loi de 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire).

La concertation a également été l'occasion de dialoguer sur les questions d'éthique et de gouvernance. C'est en réponse à ces enjeux que l'Andra a créé, suite au débat public de 2013, un Comité éthique et société (CES) qui éclaire, fait progresser, donne des avis et évalue l'Andra sur des sujets tels que les relations et responsabilités intergénérationnelles, la participation et l'implication de la société dans les activités et les projets conduits par l'Andra, la gouvernance de ses projets, l'éthique environnementale et territoriale.

Sur ces deux thématiques - la conception technique et la gouvernance - l'Andra entend poursuivre la concertation post-débat public à la fois à l'échelle locale mais aussi nationale, en vue du dépôt du dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage Cigéo et pendant son instruction jusqu'à l'enquête publique.

Au-delà de ces questions de principe, l'insertion du projet et certaines de ses caractéristiques ont été et continueront à être précisées aussi construites *via* un dialogue avec le territoire. C'est principalement à partir du débat public de 2013, puis dans le cadre de la phase de concertation post-débat public que les sujets ont pu être abordés, débattus et arbitrés, dans un dialogue qui s'est progressivement élargi. Le présent dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique (DUP) intègre ces choix partagés avec le territoire. Si des scénarios de référence ont été retenus à l'issue de la première phase de la concertation post-débat public, des études complémentaires sont encore nécessaires et l'Andra s'est engagée à revenir sur des sujets déjà abordés et à porter à la concertation des aspects pour lesquels des choix restent à faire ou à affiner, notamment sur l'aménagement et le cadre de vie.

La concertation a donc constitué un apport essentiel et continu au projet global Cigéo qui a su se nourrir des réflexions qui relèvent de choix de société, de principes de sûreté comme d'attentes locales.

Nombre d'évolutions du projet résultent des enseignements des étapes de concertation précédentes. D'abord centrée sur les raisons d'être du projet (au travers du débat public de 2005 notamment puis du débat public de 2013), la concertation s'est progressivement étendue à un large spectre de sujets environnementaux et à de nombreux choix de société. Le dialogue avec la société est aujourd'hui inscrit pleinement dans la gouvernance et le fonctionnement de l'Andra, dans la gouvernance du projet et dans les pratiques de l'ensemble des acteurs locaux ou nationaux concernés par le projet

1.3 Description des installations du projet global

1.3.1 Le centre de stockage Cigéo

Le centre de stockage Cigéo comprend :

- une zone descenderie (ZD), principalement dédiée à la réception des colis de déchets radioactifs envoyés par les producteurs, à leur contrôle et à leur préparation avant transfert dans l'installation souterraine pour leur stockage ;
- une zone puits (ZP), dédiée aux installations de soutien aux activités réalisées dans l'installation souterraine et en particulier aux travaux de creusement ;
- une zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS), comprenant les accès depuis la surface, des quartiers de stockage des colis de déchets radioactifs et des zones de soutien logistique (ZSL) ;
- une liaison intersites (LIS) en surface, reliant la zone puits à la zone descenderie, comprenant un convoyeur, une voie dédiée à la circulation des poids lourds et une voie pour la circulation des véhicules légers ;
- une installation terminale embranchée (ITE), voie ferrée reliant la zone descenderie au Réseau ferré national (RFN) à Gondrecourt-le-Château et incluant une plateforme logistique dans cette commune.

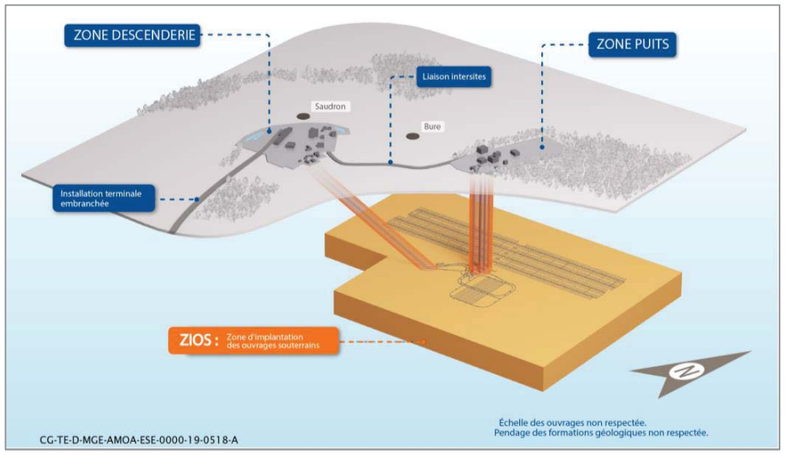


Figure 1.3-1 Représentation illustrative du centre de stockage Cigéo

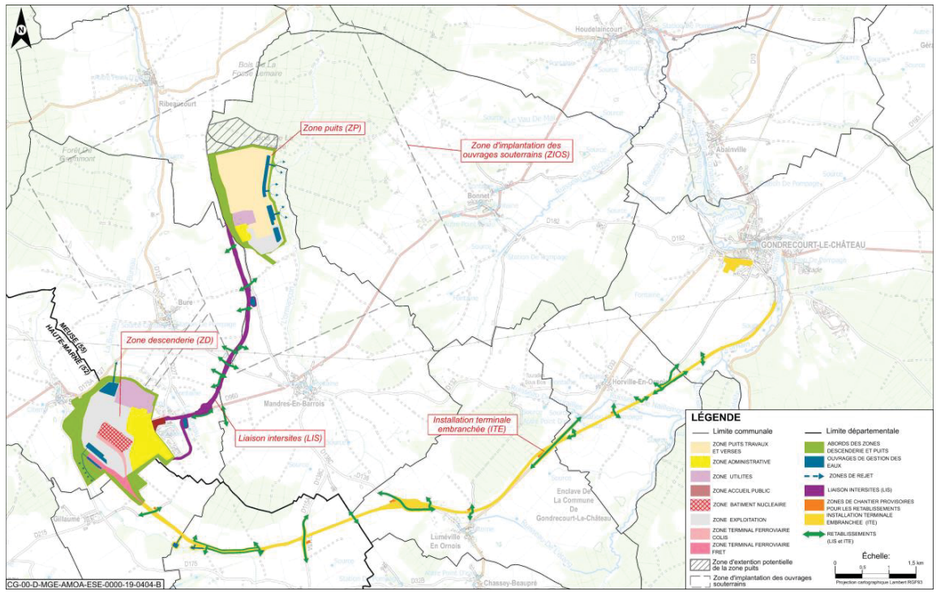


Figure 1.3-2 Localisation des installations de surface du centre de stockage Cigéo

1.3.1.1 Les ouvrages de surface en zone descenderie

LES COMMUNES CONCERNÉES

- dans la Haute-Marne (dép.52) : Gillaumé, Saudron
- dans la Meuse (dép.55) : Bure

La zone descenderie (ZD), d'une surface totale de 296 ha, est dédiée à la réception, au contrôle et à la préparation des colis de déchets radioactifs avant leur transfert dans l'installation souterraine. Elle comprend l'ensemble des surfaces accueillant les bâtiments, ouvrages, équipements et aménagements paysagers de la zone descenderie.

Une bande de l'ordre de 24 ha de milieux ouverts (cultivés et prairiaux) est conservée et servira à couvrir une partie des besoins de compensation écologique localisés à ses abords directs.

Elle se trouve à l'ouest du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne de l'Andra, dont elle est indépendante. L'entrée de cette zone s'effectue par l'est à proximité du rond-point de la route départementale D60/960 desservant actuellement l'entrée du Laboratoire souterrain.

La figure 1.3-3 présente l'organisation générale de la zone descenderie.

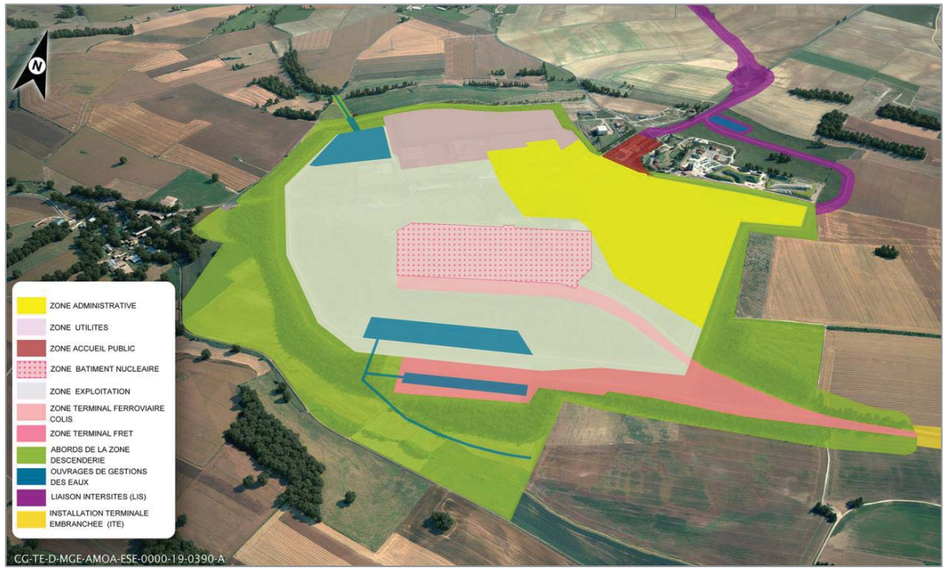


Figure 1.3-3 Organisation générale de la zone descenderie

La zone descenderie prend place dans un territoire agricole ouvert. La figure 1.3-4 présente un exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone descenderie.



Figure 1.3-4 Exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone descenderie

La zone descenderie est organisée de la manière suivante :

- une zone dédiée à l'exploitation, comprenant notamment le bâtiment nucléaire et le terminal ferroviaire colis, accueillant les colis de déchets radioactifs ;
- une zone dite administrative regroupant les installations de soutien à l'exploitation et à la maintenance de la zone descenderie ainsi que des bâtiments administratifs pour l'ensemble du centre de stockage Cigéo ;
- une zone dédiée à l'accueil du public, regroupant en particulier un bâtiment d'accueil du public et un bâtiment dédié à la conservation de la mémoire ;
- une zone utilités regroupant les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides sur la zone descenderie ;
- une zone permettant d'accueillir un terminal ferroviaire fret.

Les ouvrages de la ZD sont intégrés dans des clôtures permettant d'en contrôler les accès et de leur apporter le niveau de protection approprié

L'ensemble des installations est desservi par des cheminements piétons ainsi que par un réseau de voiries internes adaptées à des circulations à faible vitesse de véhicules légers et de poids lourds. La surface au sol globale de ces voieries, mais aussi des infrastructures ferroviaires internes à la zone (hors terminaux ferroviaires) et des plateformes associées est de l'ordre de 250 000 m².

Différentes aires de stationnement sont réparties sur la zone pour une surface de l'ordre de 19 000 m².

1.3.1.2 Les ouvrages de surface en zone puits

LES COMMUNES CONCERNÉES

Dans la Meuse (dép.55) : Bure, Mandres-en-Barrois

La zone puits (ZP), d'une surface totale à terme de 202 ha est dédiée principalement aux installations de soutien aux activités souterraines de stockage et de travaux (déploiement progressif des zones de stockage) (cf. Figure 1.3-5 et Figure 1.3-6). Elle est implantée dans la partie sud du bois Lejuc, sur un terrain naturellement incliné vers l'est, en direction de la vallée de l'Ormançon.

L'accès à la zone puits s'effectue *via* une route, faisant partie de la liaison intersites, depuis la route départementale D60/960. En cas de situation exceptionnelle, une voie de secours privée située au sud de la zone puits permet de rejoindre cette route.



Figure 1.3-5 Organisation générale de la zone puits



Figure 1.3-6 Exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone puits

La zone puits est organisée de la manière suivante :

- une zone dédiée aux installations de soutien aux activités de travaux de creusement des installations souterraines et au dépôt des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien appelée zone puits travaux et verses, comprenant notamment :
  - ✓ le puits permettant l'extraction d'air de la zone souterraine en travaux ;
  - ✓ le puits assurant l'apport d'air frais et le transfert du personnel vers la zone souterraine en travaux ;
  - ✓ le puits de transfert des matériels et matériaux ;
  - ✓ la zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien déposés sous forme de « verses ».
- une zone dédiée à l'exploitation, comprenant notamment :
  - ✓ le puits permettant l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation ;
  - ✓ le puits assurant l'apport d'air frais et le transfert du personnel, des équipements, matériels et matériaux vers la zone souterraine en exploitation ;
- une zone administrative regroupant les installations de soutien à l'exploitation et à la maintenance de la zone puits ;
- une zone utilités regroupant les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides de la zone puits et de l'installation souterraine.

Ces ouvrages sont intégrés dans des secteurs clôturés permettant d'assurer les procédures de contrôle et d'apporter le niveau de protection approprié.

L'ensemble des installations est desservi par des cheminements piétons ainsi que par un réseau de voiries internes adaptées à des circulations à faible vitesse de véhicules légers et de poids lourds. La surface globale de ces voieries et des plateformes associées est de l'ordre de 160 000 m². L'aire de stationnement principale est située à l'entrée de la zone descenderie.

Aucun colis de déchets radioactifs ne transite sur la zone puits.

1.3.1.3 La zone d'implantation des ouvrages souterrains

LES COMMUNES CONCERNÉES

Dans la Meuse (dép.55) : Bonnet, Bure, Mandres-en-Barrois, Ribeaucourt, Saint-Joire, Houdelaincourt.

Les ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo sont déployés progressivement au sein de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS). Les ouvrages dédiés au stockage des colis sont implantés dans la couche d'argilite du Callovo-Oxfordien à une profondeur d'environ 500 mètres. Des liaisons surface-fond (puits et descenderies) relient la zone descenderie et à la zone puits, décrites précédemment, aux parties de l'installation souterraine implantées dans cette couche de roche.

La ZIOS s'étend sur environ 29 km². Elle comprend :

- les liaisons surface-fond, soit deux descenderies et cinq puits ;
- trois quartiers de stockage de colis de déchets radioactifs (MA-VL, HA0 et HA1/HA2) ;
- une zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) qui supporte les activités de la zone souterraine en exploitation et par laquelle transitent les colis de déchets radioactifs ;
- une zone de soutien logistique travaux (ZSLT) qui supporte les activités de la zone souterraine en travaux et par laquelle transitent les équipements et les matériaux pour la construction.

Toutes les opérations sur les colis dans la ZIOS sont automatisées et suivies par vidéo-surveillance à partir de la salle de conduite centralisée localisée dans le bâtiment nucléaire de surface

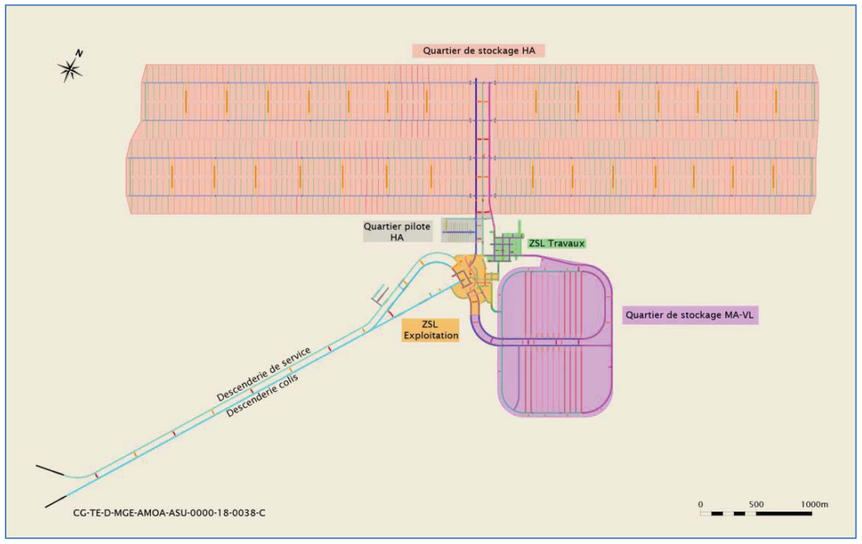


Figure 1.3-7 Organisation générale des ouvrages souterrains à terminaison

Après l'autorisation de mise en service délivrée par l'ASN, commence la réception de premiers colis de déchets radioactifs utilisés pour des essais actifs des équipements, puis des opérations de stockage.

Le fonctionnement du centre de stockage Cigéo dure une centaine d'années au cours desquelles ont lieu simultanément des opérations de réception et de mise en stockage de colis de déchets radioactifs et des travaux d'extension des zones de stockage par tranches successives. Pendant le fonctionnement du centre de stockage Cigéo, les études sont poursuivies pour améliorer sa conception, notamment pour l'amélioration continue des tranches successives.

Pour des raisons de sûreté, les zones nucléaires en exploitation sont toujours séparées physiquement des zones en travaux (maîtrise des risques de coactivité). Tous les flux travaux et exploitation (réseaux électriques, aérage, personnel, matériel…) sont séparés.

Ainsi, les travaux de construction peuvent être effectués sans impact sur la poursuite des opérations de mise en stockage. Un événement dans une zone n'a pas d'incidence sur l'autre zone.

Sous réserve d'autorisation, des travaux d'obturation d'alvéoles et de quartiers stockage pourront également être réalisés pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage en respectant la même logique de séparation des activités.

Pour garantir la mise en sécurité des déchets stockés sur de très longues périodes de temps, les ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo devront être refermés. Cette fermeture se fera de façon progressive, selon un processus d'autorisation spécifique. Le milieu géologique est choisi et l'installation de stockage est conçue de telle sorte qu'après la fermeture définitive de l'installation, la sûreté est assurée de façon passive, c'est-à-dire que les personnes et l'environnement seront protégés des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir.

Préalablement à la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo, pendant la phase de fonctionnement, de premières opérations d'obturation d'alvéoles et de quartiers de stockage, peuvent

être anticipées, si les générations futures en charge de l'exploitation le décident[19]. En pratique, ces opérations d'obturation consistent au démontage des équipements d'exploitation et à la construction d'ouvrages, pour assurer le bon fonctionnement du stockage après sa fermeture définitive.

Le remblaiement des galeries se fait en réutilisant les déblais argileux excavés au moment du creusement et entreposés en surface, appelés « verses vives ».

1.3.1.4 La liaison intersites

LES COMMUNES CONCERNÉES

Dans la Meuse (dép.55) : Bure, Mandres-en-Barrois

La liaison intersites d'une surface totale de 46 ha assure les échanges entre la zone descenderie et la zone puits et permet l'accès des véhicules légers à la zone puits. Elle est constituée de trois infrastructures : une piste routière et d'une bande transporteuse semi-enterrée, toutes deux privées, ainsi que d'une route ouverte au public. Les deux infrastructures privées limitent les interférences des activités du centre de stockage Cigéo avec le réseau local de circulation.

Leurs fonctions sont :

- la desserte de la zone puits depuis la route départementale 60/960 pour les poids lourds ;
- l'acheminement des matériaux extraits du creusement depuis la zone descenderie jusqu'à la zone puits pour leur dépôt, principalement lors de la construction initiale ;
- l'acheminement des matériaux de construction livrés en zone descenderie jusqu'à la zone puits.

Les objectifs de la route ouverte au public sont :

- la desserte de la zone puits par le sud depuis la route départementale 60/960 pour les véhicules légers ;
- l'accès aux parcelles agricoles *via* les chemins ruraux interceptés par les deux infrastructures privées.

La longueur totale des infrastructures privées de la liaison intersites s'élève à environ 5 kilomètres. La longueur totale de la route ouverte au public s'élève à environ 4 kilomètres.

L'accès de la piste routière privée est adapté aux véhicules de type poids lourds en lien avec le chantier et le fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Elle permet également les opérations de maintenance sur le convoyeur semi-enterré.

Le convoyeur semi-enterré à bande transporteuse est implanté dans un caisson en béton armé, composé de deux murets recouverts par des dalles.

[19] Ces opérations d'obturation ont parfois été dénommées « fermeture partielle » dans de précédentes publications de l'Andra.



Figure 1.3-8 Exemple de convoyeur à bande en caisson béton

L'Andra ne prévoit pas de clôturer la liaison intersites. La route ouverte au public pourra être rétrocédée au conseil départemental de la Meuse.

Le tracé de la liaison intersites croise et/ou modifie deux routes départementales (RD), onze chemins ruraux (CR) et deux chemins d'exploitation agricole (CA) dans leur section courante.

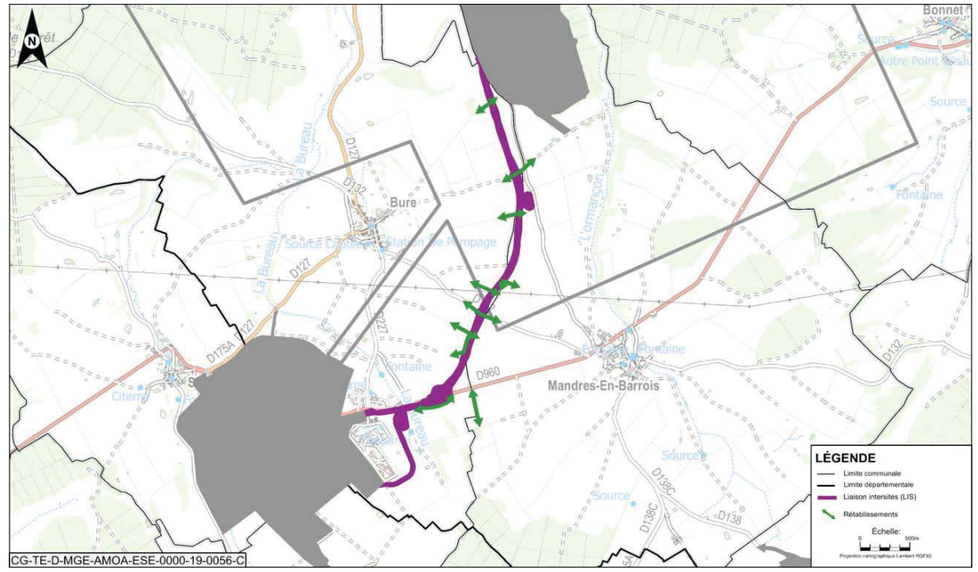


Figure 1.3-9 Localisation de la liaison intersites

1.3.1.5 L'installation terminale embranchée

LES COMMUNES CONCERNÉES

- dans la Haute-Marne (dép.52) : Cirfontaines-en-Ornois, Gillaumé
- dans la Meuse (dép.55) : Gondrecourt-le-Château, Horville-en-Ornois (incluant Luméville-en-Ornois rattachée à Gondrecourt-le-Château)

L'installation terminale embranchée (ITE) du centre de stockage Cigéo comprend une infrastructure ferroviaire privée et une plateforme logistique.

a) L'infrastructure ferroviaire

L'infrastructure ferroviaire privée de l'installation terminale embranchée permet de raccorder la zone descenderie du centre de stockage Cigéo au Réseau Ferré National (RFN).

Les objectifs de cette infrastructure sont :

- l'acheminement des colis de déchets radioactifs depuis les sites des producteurs ;
- l'acheminement des matériaux de construction pour alimenter les chantiers durant les différentes phases travaux de déploiement du centre de stockage Cigéo.

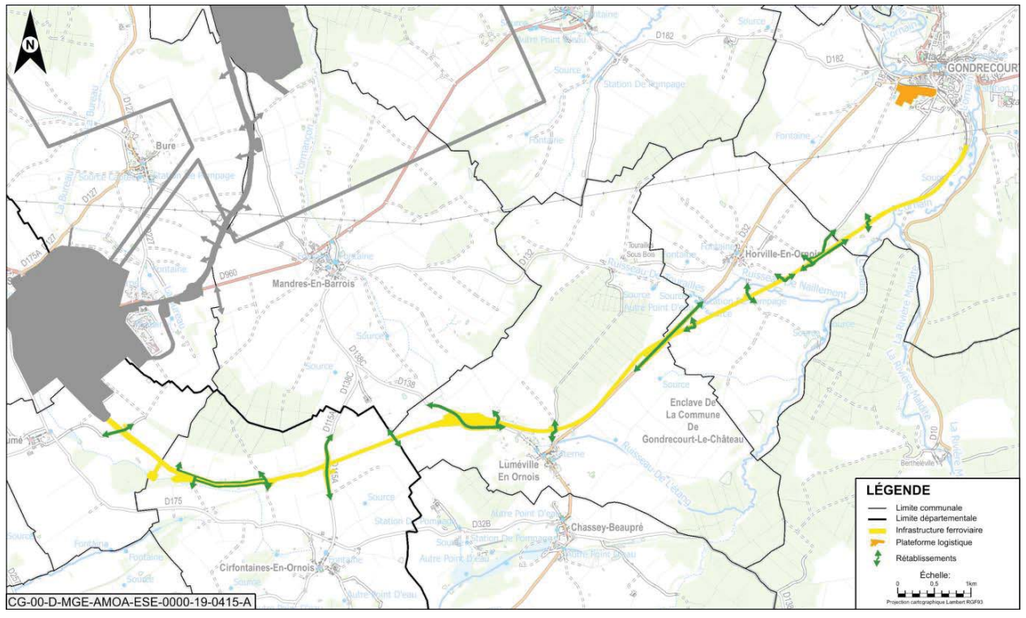


Figure 1.3-10 Localisation de l'installation ferroviaire terminale embranchée

La longueur totale de l'infrastructure ferroviaire de l'installation terminale embranchée est d'environ 14 km, dont 10 km s'inscrivant sur une ancienne plateforme ferroviaire (ligne Gondrecourt-le-Château/Joinville). Cette dernière est désaffectée depuis plusieurs décennies et ne comporte plus d'équipement ferroviaire (rails, traverses et ballasts). Seuls les ouvrages d'art et des maisons de garde-barrière subsistent sur le territoire.

L'infrastructure ferroviaire est constituée d'une voie unique avec un chemin latéral en support. La largeur totale du fuseau s'élève à environ 55 m pour une surface d'environ 121 ha.

L'Andra n'a pas prévu de clôturer l'infrastructure ferroviaire.

L'infrastructure ferroviaire de l'installation terminale embranchée intercepte des routes et des chemins dont la continuité doit être rétablie dans de bonnes conditions de circulation et de visibilité.

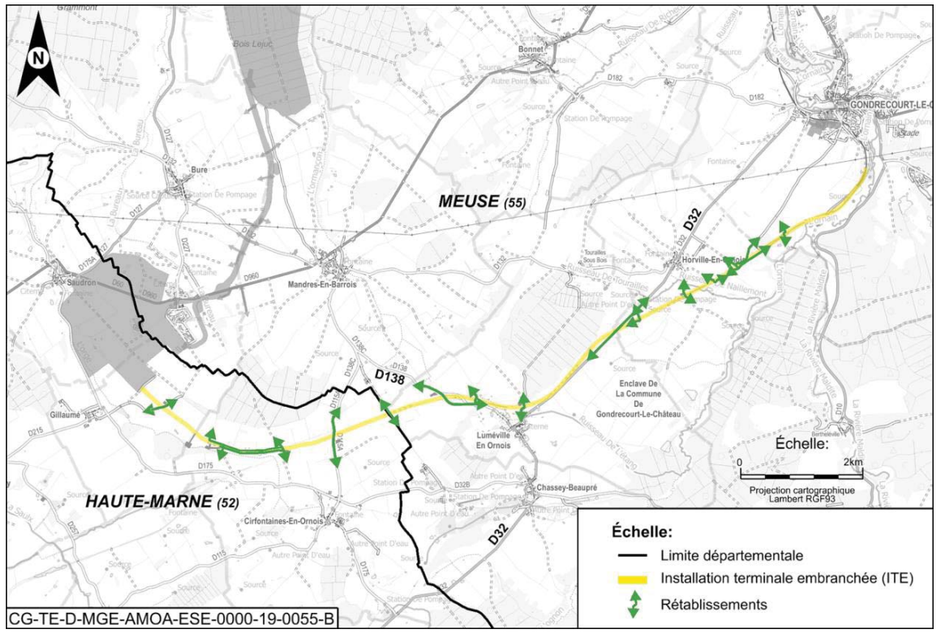


Figure 1.3-11 Rétablissements des voiries interrompues par l'installation terminale embranchée

Le trafic fret est estimé à environ 3 trains par jour (moyenne mensuelle maximale en phase de construction initiale). Le trafic se fera majoritairement en journée. La vitesse sur l'ITE sera de 30 km/h.

Au démarrage du stockage de déchets radioactifs en phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, les flux de convois acheminés par voie ferroviaire sont estimés à environ 8 trains par an. Ensuite, le flux s'intensifierait pendant la phase de fonctionnement pour atteindre 76 trains par an, soit une moyenne d'environ 6 trains par mois. Les trains circuleront majoritairement en journée. Pour la poursuite de l'acheminement des matériaux, le trafic fret est estimé entre 1 et 2 trains par semaine, en journée.

b) La plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château

Implantée sur un ancien site industriel, cette plateforme logistique privée a une surface d'environ 9 hectares.

Elle comprend trois voies ferrées raccordées à la ligne ferroviaire 027000, des voies routières associées en lien avec la route départementale D32 et des aires d'entreposage de matériaux/matériels.

Les quatre bâtiments existants, actuellement utilisés par l'Andra notamment pour l'entreposage d'échantillons (carottes géologiques) de sols extraits lors de forages, sont conservés. Aucune nouvelle construction n'est aujourd'hui envisagée. Le dispositif actuel d'assainissement des eaux de la plateforme est conservé.

Il est possible que les fonctionnalités de cette plateforme évoluent dans le futur en fonction des activités de l'Andra pour Cigéo. La plateforme pourrait notamment être utilisée pour faciliter la construction de

l'ITE (accueil d'installation de chantier, d'équipements…) ou pour gérer les flux de matériaux pour la construction du centre de stockage Cigéo.

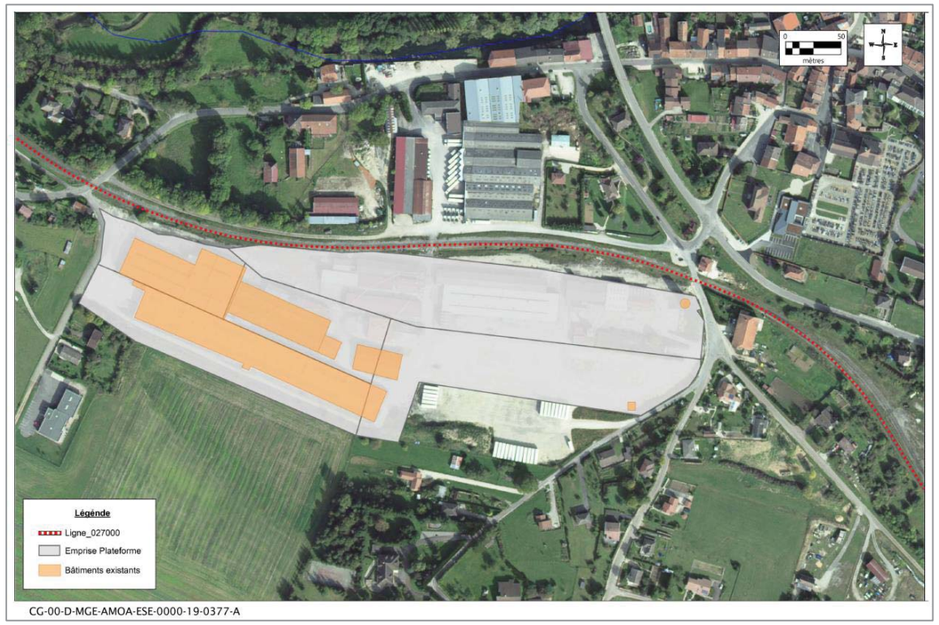


Figure 1.3-12 Vue aérienne de la plateforme logistique de Gondrecourt-le -Château

1.3.2 Les opérations du projet global Cigéo liées à la construction et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo

Les opérations du projet global Cigéo liées à la construction et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo comprennent 6 opérations :

- l'alimentation électrique par un raccordement sur la ligne existante 400 kV Houdreville/Mery ;
- l'adduction d'eau potable;
- la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château ;
- la déviation de la route départementale D60/960 ;
- l'expédition et le transport des colis de déchets depuis les installations Orano du site de La Hague (Manche), l'installation EDF ICEDA (Ain), les centres CEA de Marcoule (Gard), de Cadarache (Bouches-du-Rhône) et de Valduc (Côte d'Or) ;
- des opérations de caractérisation et de surveillance environnementale menées par l'Andra à l'extérieur du centre de stockage Cigéo (forages, mesures sur le milieu naturel, inventaires).

1.3.2.1 L'alimentation électrique

LES COMMUNES CONCERNÉES

- dans l'Aube (dép.10) : Bailly-le-Franc, Balignicourt, Chavanges, Lentilles, Pars-lès-Chavanges, Saint-Léger-sous-Margerie ;
- dans la Haute-Marne (dép.52) : Attancourt, Chevillon, Curel, Droyes, Effincourt, Frampas, Magneux, Montier-en-Der, Osne-le-Val, Paroy-sur-Saulx, Planrupt, Puellemontier, Rachecourt-sur-Marne, Saudron, Sommancourt, Troisfontaines-la-Ville, Voillecomte, Wassy ;
- dans la Meurthe-et-Moselle (dép.54) : Dolcourt, Favières, Goviller, Houdreville, Laloeuf, Parey-Saint-Césaire, Saulxerotte, Vitrey ;
- dans la Meuse (dép.55) : Amanty, Bonnet, Brixey-aux-Chanoines, Bure, Gondrecourt-le-Château, Goussaincourt, Horville-en-Ornois, Mandres-en-Barrois, Sauvigny, Taillancourt, Vouthon-Bas ;
- dans les Vosges (dép.88) : Autreville, Clérey-la-Côte, Harmonville, Punerot, Ruppes.

Le centre de stockage Cigéo demande une puissance électrique totale de 110 MW, répartie entre deux points de livraison : un sur la zone descenderie et un sur la zone puits.

L'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo est assurée par un raccordement sur la ligne existante 400 kV Houdreville (au sud de Nancy, à l'est du site)/Mery (au nord de Troyes, à l'ouest du site), transitant d'est en ouest entre les deux zones en surface (zone descenderie et zone puits) d'implantation de Cigéo (cf. Figure 1.3-13).

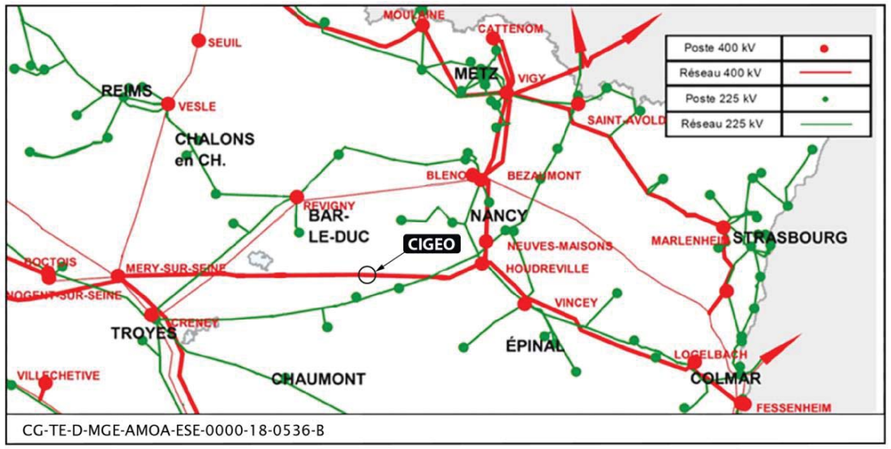


Figure 1.3-13 Localisation du raccordement électrique du centre de stockage Cigéo sur le réseau 400 kV

Le raccordement du centre de stockage Cigéo requiert la réalisation :

- de travaux de renforcement et sécurisation de la ligne 400 kV sur 124 km de la commune de Balignicourt (Aube) jusqu'au poste d'Houdreville (Meurthe-et-Moselle) ;
- d'un poste de transformation 400/90 kV, raccordé sur la ligne 400 kV Houdreville-Mery, cette opération implique la mise en place de deux nouveaux pylônes électriques entre la ligne électrique aérienne et le nouveau poste de transformation ;
- d'environ 10 km de liaison électrique 90 kV enterrées ;
  - ✓ une liaison électrique enterrée entre le nouveau poste de transformation 400/90 kV et le poste de livraison 90 kV de la zone descenderie,

- ✓ une liaison électrique enterrée entre le nouveau poste de transformation 400/90 kV et le poste de livraison 90 kV de la zone puits,
- ✓ une liaison électrique enterrée entre les deux postes de livraison des zones descenderie et puits,

- de deux postes de transformation 90/20 kV, sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra, respectivement accolés aux postes de livraison 90 kV de RTE positionnés sur la zone descenderie et sur la zone puits.

L'opération, notamment les implantations du poste de transformation 400/90 kV et des réseaux enterrés associés, fait l'objet d'une concertation préalable, en complément des concertations déjà réalisées conformément à la circulaire relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité du 9 septembre 2002 dite « circulaire Fontaine ».

1.3.2.2 L'adduction d'eau potable

Les syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain sont les maîtres d'ouvrage de l'opération d'adduction en eau potable du centre de stockage Cigéo.

Les besoins en eau du centre de stockage Cigéo sont évalués à 500 m³ par jour en phase d'aménagements préalables et de construction initiale, puis à une moyenne de 200 m³.par jour en phase de fonctionnement.

Certaines utilisations de l'eau ne nécessitent pas une qualité équivalente à celle de l'eau potable. Il a donc été choisi de concevoir des filières de traitement des eaux afin de recycler une partie des eaux produites. Ces eaux recyclées, qui respectent le bon état écologique et chimique, alimenteront les postes les plus consommateurs en eau : fabrication du béton, arrosage des espaces verts, et fonctionnement du tunnelier. Seuls les usages sanitaires bénéficieront d'une alimentation en eau potable.

Les alimentations en eau potable sont envisagées conjointement depuis les sources et forages suivants (cf. Figure 1.3-14) :

- Gondrecourt-le-Château géré par le syndicat intercommunal à vocation unique (SIVU) du Haut Ornain ;
- Échenay géré par le syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable (SIAEP) de la région d'Échenay ;
- Thonnance-les-Joinville géré par le SIAEP de Thonnance-les-Joinville/Suzannecourt.

Les travaux de raccordement du centre de stockage Cigéo à ces réseaux sont conçus de manière à restructurer les réseaux et améliorer la distribution locale de façon à la sécuriser. Plusieurs options (non exclusives les unes des autres) sont :

- le renforcement des réseaux d'alimentation existants du SIAEP d'Échenay et du SIVU du Haut Ornain ;
- la création de canalisations, de pompes de relevage et réservoirs pour amener l'eau potable jusqu'au centre de stockage Cigéo ;
- l'interconnexion des réseaux existants à proximité du centre de stockage Cigéo ;
- l'extension limitée des réseaux existants pour alimenter d'autres communes si l'alimentation en eau potable de ces communes était éventuellement affectée par les travaux et/ou le fonctionnement de Cigéo.

Ces travaux seront principalement réalisés le long des infrastructures existantes.

La consistance exacte des travaux d'adduction d'eau sera déterminée après participation du public à l'élaboration du projet lors de concertations. Les solutions retenues feront l'objet d'un approfondissement des études.

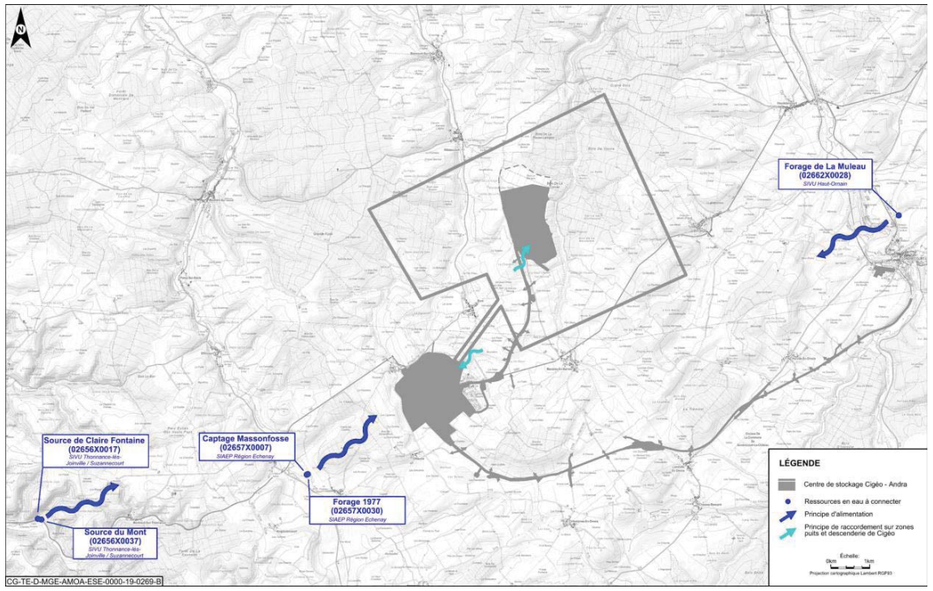


Figure 1.3-14 Localisation de l'opération d'adduction d'eau

1.3.2.3 La mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000

LES COMMUNES CONCERNÉES

Dans la Meuse (dép.55) : Abainville, Demange-Baudignécourt, Givrauval, Gondrecourt-Le-Château, Houdelaincourt, Ligny-en-Barrois, Longeaux, Menaucourt, Naix-Aux-Forges, Nançois-sur-Ornain, Nantois, Saint-Amand-Sur-Ornain, Saint-Joire, Tréveray, Velaines, Tronville-en-Barrois

SNCF[20]. Réseau est le maître d'ouvrage de l'opération de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000.

La ligne ferroviaire 027000 (cf. Figure 1.3-15) permet la connexion du centre de stockage Cigéo au réseau ferré national. Elle permettra de relier l'installation terminale embranchée (ITE) du centre de stockage depuis la ligne Paris-Strasbourg.

La ligne ferroviaire 027000 était utilisée pour le transport de fret de la gare de Nançois-Tronville jusqu'à Gondrecourt-le-Château. Elle est fermée depuis 2014 (sauf sa partie nord, partiellement rouverte à la circulation entre Nançois-Tronville et les silos de Ligny-en-Barrois). Ce tronçon, partiellement réhabilité, est lui aussi fermé à la circulation depuis décembre 2019.

Cette ligne, d'une longueur de 36 km, est intégralement située dans le département de la Meuse. Cette ligne du réseau ferré national est une ligne à voie unique non électrifiée, avec une vitesse de fond de 40 Km.h^{-1}.

Une fois mise à niveau, la ligne ferroviaire 027000 est exploitée en voie unique à trafic restreint (VUTR) pour l'usage du centre de stockage Cigéo. Ce mode de fonctionnement implique la présence d'un seul train sur la ligne ce qui limite le trafic à 4 passages quotidiens.

[20] SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer français

La ligne ferroviaire 027000 étant fermée depuis 2014, des travaux de mise à niveau sont nécessaires pour permettre la desserte du centre de stockage Cigéo. Ces travaux n'impliquent aucune modification de tracé.

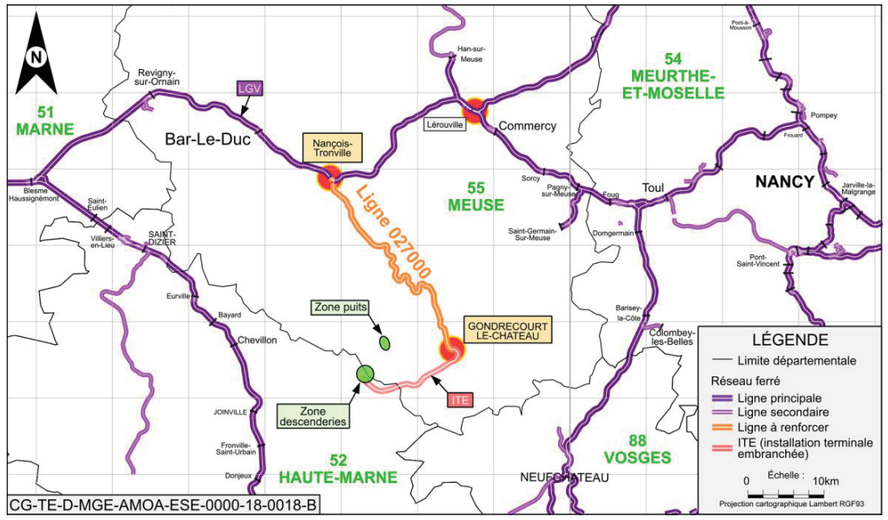


Figure 1.3-15 Réseau ferroviaire à proximité du centre de stockage Cigéo

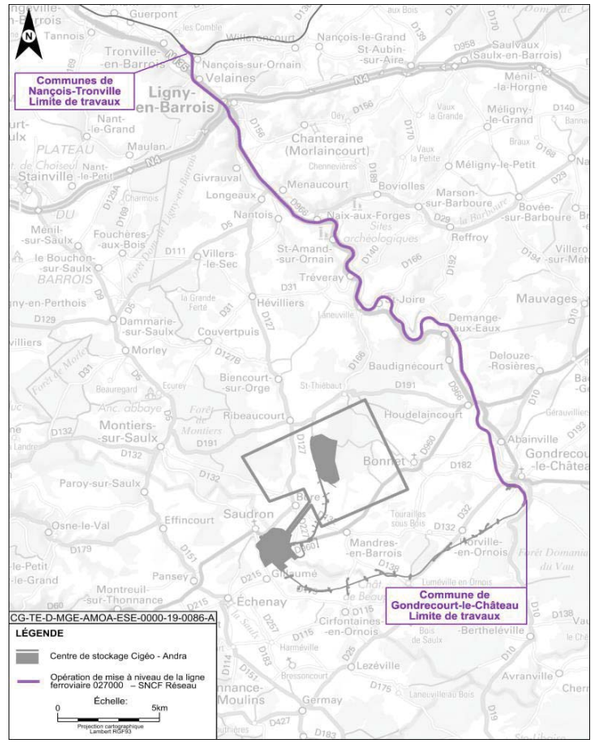


Figure 1.3-16 Localisation de la ligne ferroviaire 027000

1.3.2.4 La déviation de la route départementale D60/960

LES COMMUNES CONCERNÉES

- dans la Haute-Marne (dép.52) : Saudron, Gillaumé
- dans la Meuse (dép.55) : Bure

Le Conseil départemental de la Haute-Marne est le maître d'ouvrage de l'opération de déviation de la route départementale D60/960 pour contourner la zone descenderie du centre de stockage Cigéo.

La route départementale D60/960 est une route départementale qui relie Soulaines-Dhuys (Aube) à Toul (Meurthe-et-Moselle) en passant par Saudron (Haute-Marne).

Cette route départementale fait le lien avec les axes structurants suivants :

- la route nationale N67 à Joinville qui relie Chaumont au sud à Saint-Dizier au nord ;
- la route départementale D966 à Houdelaincourt qui relie Bar-le-Duc au nord à Neufchâteau au sud.

Les études de conception du centre de stockage Cigéo montrent la nécessité de dévier localement la route départementale D60/960 pour déployer les installations de la zone descenderie sur une emprise continue. La déviation modifie le tracé de la route départementale D60/960 sur le tronçon compris entre Pansey et Mandres-en-Barois.

Trois options sont en cours d'études par le Conseil départemental de la Haute-Marne :

- une option Sud qui passerait entre la zone descenderie et Gillaumé ;
- une option Nord qui contournerait Saudron ;
- une option de proximité qui longerait la limite nord de la zone descenderie.

Elles sont élaborées de façon à éviter les zones les plus sensibles et réduire les incidences environnementales ne pouvant être évitées.

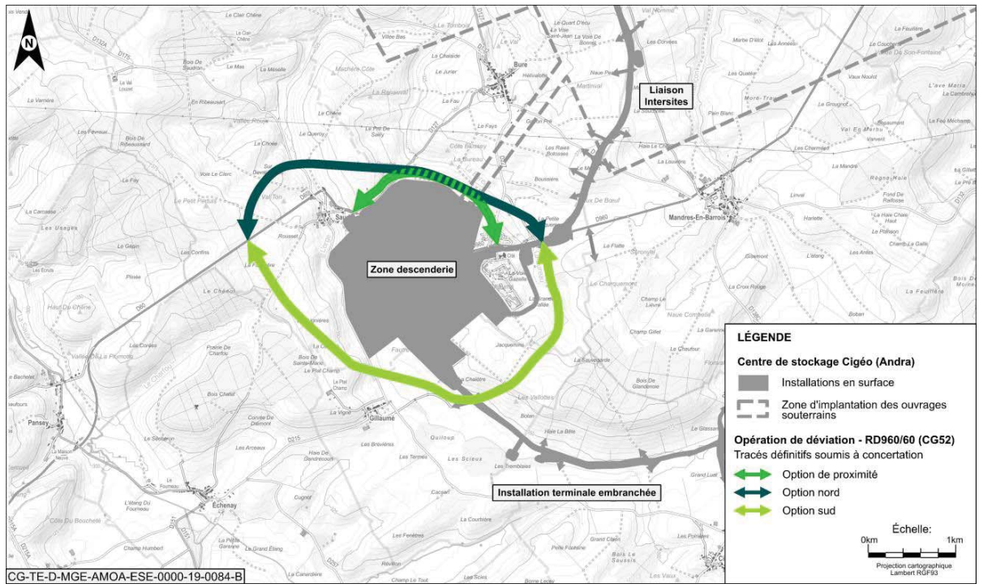


Figure 1.3-17 Opération de déviation de la route départementale D60/960 – options étudiées en vue de la concertation

Après participation du public à l'élaboration du projet, la solution retenue fera l'objet d'un approfondissement des études techniques et environnementales.

1.3.2.5 Expédition et transport de colis de déchets radioactifs

Les colis de déchets destinés au centre de stockage Cigéo sont entreposés temporairement dans des installations dédiées chez les différents producteurs, puis acheminés depuis :

- les installations Orano du site de La Hague dans le département de la Manche (dép.50) ;
- l'installation EDF[21] ICEDA (Installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activités) mise en service sur le site de la centrale nucléaire de Bugey dans le département de l'Ain (dép.01) ;
- les installations du CEA[22] du site de Marcoule dans le département du Gard (dép.30), du site de Cadarache dans le département des Bouches-du-Rhône (dép.13) et de celui de Valduc dans le département de la Côte d'Or (dép. 21).

La localisation des installations des producteurs à partir desquelles seront expédiés les colis de déchets destinés au centre de stockage Cigéo est représentée sur la figure 1.3-18 qui illustre les acheminements envisagés vers Cigéo.

[21] EDF : Électricité de France
[22] CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives



Figure 1.3-18 Illustration de l'acheminement des colis de déchets radioactifs vers Cigéo

Les constructions et/ou les modifications des installations d'expédition par les producteurs sont actuellement à l'étude. Si, celles-ci, s'avéraient nécessaires, elles feraient l'objet de demandes d'autorisations spécifiques portées par le producteur concerné et incluant l'analyse des impacts prenant en compte le secteur d'implantation et les activités envisagées. En tout état de cause, de telles constructions ou modifications d'installations n'interviendraient que plusieurs années après la mise en service du centre de stockage Cigéo. Elles concerneraient des sites nucléarisés faisant déjà l'objet d'études environnementales.

1.3.2.6 Les opérations de caractérisation et de surveillance environnementale

Des opérations de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales doivent être menées hors du centre de stockage Cigéo. Elles sont complémentaires des investigations et des mesures réalisées à l'intérieur du centre de stockage Cigéo.

- les opérations de caractérisation correspondent à des investigations qui permettent d'acquérir une meilleure connaissance de l'environnement, au sens large (géologie du site, biodiversité, milieu physique…), du centre de stockage Cigéo.
- les opérations de surveillance environnementale correspondent à la réalisation de mesures, continues ou périodiques, prescrites par les autorités pour :

- ✓ contrôler le fonctionnement du centre de stockage Cigéo et notamment de l'installation nucléaire de base (INB) pour en détecter les éventuelles dérives, identifier leur cause et mettre en œuvre des actions correctives ;
- ✓ vérifier le respect des obligations réglementaires qui incombe à l'Andra en matière de protection de l'environnement ;

- les opérations de suivi des mesures environnementales correspondent aux actions menées pour vérifier l'efficacité des mesures d'évitement, de réduction et de compensation des impacts du centre de stockage Cigéo.

Des études de caractérisation de terrain incluant des campagnes de forages ont été menées depuis 1994 pour caractériser et définir le milieu géologique, notamment pour évaluer la capacité des argilites du Callovo-Oxfordien à accueillir un stockage de déchets radioactifs MA-VL et HA et à caractériser l'environnement de la formation géologique destinée à accueillir le centre de stockage Cigéo. Ces études itératives, complétées par diverses études environnementales, ont permis d'affiner la connaissance de la zone. Ces campagnes de forages se poursuivent, en lien avec l'avancement des études de conception et pour consolider la connaissance scientifique de la zone.

D'autres campagnes de forages seront ensuite réalisées pour les besoins de la surveillance environnementale du centre de stockage. Les implantations des forages sont définies progressivement, en parallèle des études.

Ces forages ont fait ou feront l'objet des procédures d'autorisation ou de déclaration exigées par le code de l'environnement.

Ces forages peuvent être implantés hors de la zone d'intervention potentielle du projet proprement dit ; ils comprennent :

- des forages de reconnaissance géologique préalables réalisés avant ou pendant les travaux ;
- des forages de surveillance environnementale et scientifique du futur centre de stockage, réalisés essentiellement hors du centre.

Ces opérations de caractérisation et de surveillance environnementale (hors du centre de stockage Cigéo) sont réalisées sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra.

1.4 Phasage du centre de stockage Cigéo

Le déploiement du centre de stockage Cigéo est envisagé selon plusieurs phases temporelles successives :

- la phase d'aménagements préalables ;
- la phase de construction initiale ;
- la phase de fonctionnement ;
- la phase de démantèlement ;
- les phases de surveillance et de « post-surveillance ».

L'Andra propose que la phase industrielle pilote, proposée par l'Andra à l'issue du débat public de 2013 sur le centre de stockage Cigéo et prévue par le code de l'environnement (article L. 542-10-1) depuis 2016, couvre la phase de construction initiale et les premières années de la phase de fonctionnement.

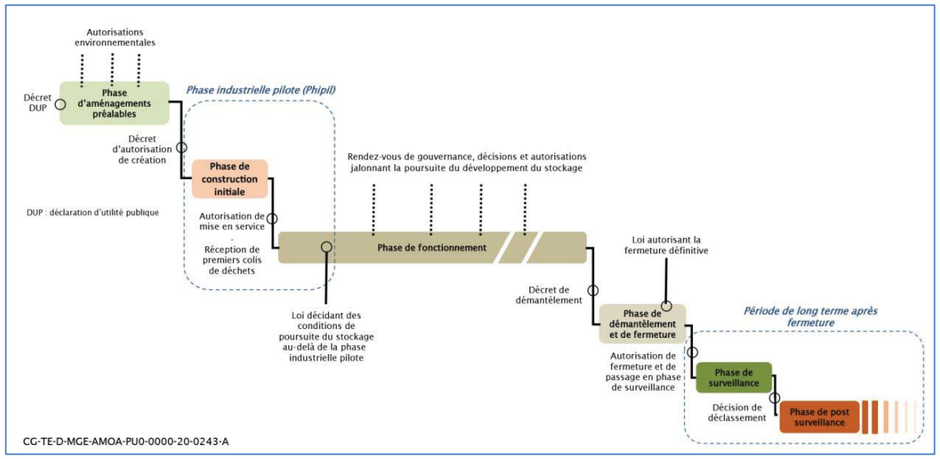


Figure 1.4-1 Phases temporelles successives du centre de stockage Cigéo

1.4.1 La phase d'aménagements préalables

La phase d'aménagements préalables commence à la délivrance du décret de déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo et se termine à la délivrance du décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo. Les travaux menés lors de la phase d'aménagements préalables permettent de préparer les sites pour les opérations de construction du centre de stockage. Comme pour tout projet, ces travaux doivent être réalisés avant la construction proprement dite.

Les travaux menés pendant la phase d'aménagements préalables recouvrent des défrichements, l'archéologie préventive, la viabilisation des sites, des terrassements, la mise en place des installations de chantier. Certains de ces travaux pourront se terminer pendant la phase suivante de construction initiale du centre de stockage.

Les raccordements du centre de stockage aux réseaux sont réalisés pendant la phase d'aménagements préalables (alimentation électrique, adduction d'eau, raccordement au réseau ferré national, raccordement au réseau routier).

1.4.2 La phase de construction initiale

La phase de construction initiale commence à la délivrance du décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo. Les travaux menés lors de la phase de construction initiale ont pour objectif de construire les ouvrages de surface et les ouvrages souterrains permettant de mettre en service le centre de stockage Cigéo pour la réception et le stockage de premiers colis de déchets.

Les travaux menés lors de la phase de construction initiale comprennent la construction :

- des bâtiments de surface liés au fonctionnement du centre de stockage, notamment le bâtiment nucléaire où seront réceptionnés, contrôlés et préparés les colis de déchets et à partir duquel ils seront descendus dans l'installation souterraine ;
- des descenderies inclinées et des puits verticaux qui permettent les transferts entre la surface et le fond ;
- de galeries et d'alvéoles de stockage permettant de stocker de premiers colis HA0 et de premiers colis MA-VL.

Pour permettre la réalisation de ces constructions, différentes installations temporaires seront installées (zone d'entreposage de matériels, parkings, ateliers, centrales à béton...).

1.4.3 La phase de fonctionnement

La phase de fonctionnement commence à la délivrance de l'autorisation de mise en service du centre de stockage qui permet de débuter la réception et la mise en stockage de premiers colis de déchets radioactifs. La réception et la mise en stockage de colis de déchets radioactifs dans le centre de stockage Cigéo sont ensuite envisagés pendant plus d'un siècle.

Pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, parallèlement aux activités de stockage, des travaux d'extension progressive de l'installation souterraine seront menés par tranches successives afin de poursuivre la réception des colis de déchets de l'inventaire Figure 1.4-2). Les parties souterraines en construction sont physiquement séparées des parties en exploitation.

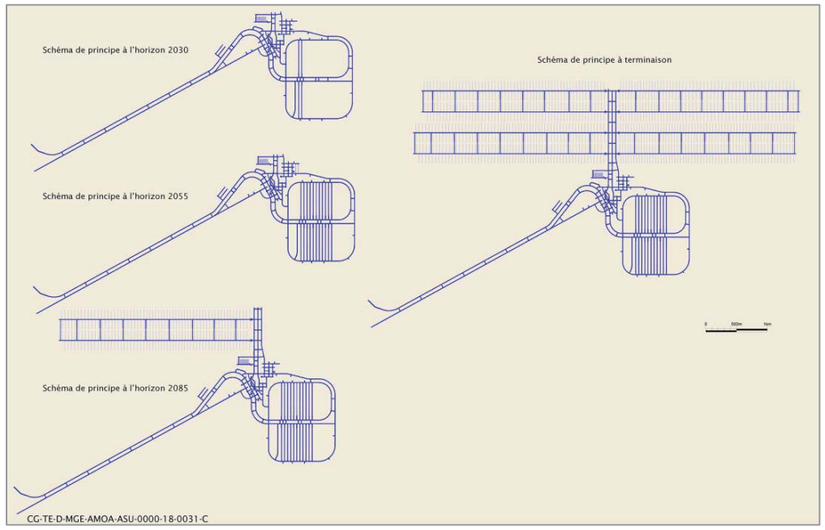


Figure 1.4-2 Illustration du développement progressif des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo

Le fonctionnement du centre de stockage Cigéo requiert également d'étendre progressivement la zone de dépôt des déblais du Callovo-Oxfordien qui seront réutilisés pour sa fermeture. Sur la durée, il implique également des travaux de jouvence de certains bâtiments de surface, voire la construction de nouveaux bâtiments dont l'utilisation n'est pas prévue au démarrage[23].

Le déploiement progressif du centre de stockage Cigéo permet de tenir compte d'éventuelles évolutions dans les programmes de livraison des colis et de bénéficier au maximum des progrès scientifiques et techniques, ainsi que de l'expérience acquise lors de l'exploitation du centre lui-même.

Après la mise en service du centre de stockage, les principales périodes de stockage successives des colis envisagées sont :

[23] À titre d'exemple, le bâtiment de réception des colis HA1/HA2, dont la réception est actuellement envisagée à partir de l'horizon 2070-2080, sera construit pendant la phase de fonctionnement.

- les cinq premières années, stockage simultané de colis de déchets HA0 (colis peu exothermiques) et de colis de déchets MA-VL ;
- pendant environ 40 ans, stockage de colis MA-VL ;
- puis, pendant environ 20 ans, stockage simultané de colis de déchets MA-VL et de colis HA1/HA2 (fortement exothermiques) ;
- enfin, pendant une durée de l'ordre de 45 ans, poursuite du stockage des colis HA1/HA2.

Cette chronologie reste toutefois indicative. Elle pourra être adaptée pour prendre en compte le retour d'expérience, les ajustements des chroniques de livraison des déchets à stocker et les décisions prises dans le cadre de la gouvernance globale de la gestion des déchets radioactifs.

La phase de fonctionnement comportera également, le cas échéant et sous réserve d'autorisation, des travaux de démantèlement partiels de certaines installations de surface et d'obturation de parties souterraines (obturation d'alvéoles et de zones de stockage permettant d'avancer progressivement vers la fermeture définitive du centre de stockage).

1.4.4 La phase de démantèlement

La phase de démantèlement commence après l'arrêt définitif du centre de stockage Cigéo. Les travaux menés en surface pendant cette phase comprennent des opérations de démontage d'équipements, d'assainissement des locaux et des sols, de destruction de structures de génie civil. En souterrain, sont menés les travaux pour la fermeture définitive du centre de stockage.

Pendant la phase de démantèlement, la totalité des substances dangereuses et radioactives présentes dans les installations de surface est évacuée. À l'horizon 2150, les zones de surface sont réaménagées selon des objectifs et des usages à définir en fonction des enjeux.

Pour garantir la mise en sécurité des déchets stockés sur de très longues périodes de temps, les ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo doivent être fermés. En effet, le milieu géologique est choisi et l'installation souterraine est conçue de telle sorte qu'après la fermeture définitive du centre de stockage (scellement et remblaiement des puits et des descenderies d'accès de l'installation souterraine), la sûreté est assurée de façon passive, c'est-à-dire que les personnes et l'environnement sont protégés des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir. L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement dispose que seule une loi peut autoriser la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo.

La fermeture se fait de manière progressive, selon un processus décisionnel à définir. Elle comprend :

- l'obturation des alvéoles de stockage ;
- le déséquipement, le remblaiement puis le scellement des galeries d'accès aux alvéoles et des galeries de liaison ;
- enfin le remblaiement et le scellement des puits et des descenderies pour l'étape de fermeture définitive.

1.4.5 Les phases de surveillance et de post-surveillance

Les phases de « surveillance » et de « post-surveillance » du centre de stockage Cigéo sont postérieures à la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo et correspondent au long terme (envisageable sur plusieurs centaines de milliers d'années après la fermeture). Le fonctionnement du centre ayant cessé, il n'y a plus d'activité d'acheminement de matériaux et de colis.

La durée de la phase de surveillance sera fixée par l'autorité qui sera en charge, à l'horizon concerné, de la sûreté nucléaire (actuellement l'ASN). Le déclassement du centre de stockage Cigéo pourra être envisagé par les services compétents en complément de la validation du programme de surveillance du

secteur. Cette phase de surveillance pourra faire l'objet, au regard de la réglementation qui sera applicable à cette échéance, de procédures d'autorisations spécifiques.

Postérieurement à la phase de surveillance, une phase de post-surveillance est prévue pour l'évaluation de sûreté à très long terme. Elle permet de caractériser les impacts radiologiques et chimiques à très long terme après le déclassement de l'installation. L'évaluation de sûreté prend en compte l'éventualité de la fin de tout contrôle institutionnel, voire la perte de mémoire de l'existence du site.

1.4.6 Cas particulier de la phase industrielle pilote

Une phase particulière, dénommée « phase industrielle pilote », est prévue au démarrage du centre de stockage Cigéo (article L. 542-10-1 du code de l'environnement). L'Andra propose que cette phase s'ouvre après la délivrance du décret de création du centre de stockage Cigéo, dès les premières décisions structurantes liées à la construction. La phase industrielle pilote inclut également de premières années de fonctionnement du centre de stockage. Elle prendra fin dans les conditions qui seront décidées par le Parlement.

La phase industrielle pilote (Phipil) répond à une demande exprimée lors du débat public mené en 2013 sur le projet de centre de stockage Cigéo.

En termes techniques, la phase industrielle pilote constitue une première phase d'apprentissage pour confirmer la conception, le fonctionnement et la démonstration de sûreté du centre de stockage Cigéo. Elle permet à l'Andra de confirmer, en situation réelle, des données sur le milieu géologique dans lequel l'installation souterraine est construite. Elle garantit une bonne prise en main de l'outil industriel, permet de vérifier son bon fonctionnement et d'en tirer les retours d'expériences suffisants pour envisager la suite de son fonctionnement et de sa construction.

En termes de gouvernance, la phase industrielle pilote joue un rôle fondamental pour préparer les décisions stratégiques jalonnant le développement du stockage, en particulier la décision de stocker de premiers colis et la décision de poursuivre le projet. Son contour précis, ses modalités et sa durée, notamment, seront enrichis lors des étapes de concertation à venir.

Les résultats de la phase industrielle pilote font l'objet d'un rapport de l'Andra et d'un processus d'évaluation qui aboutit à une loi. Celle-ci fixera les conditions de sortie de la phase industrielle pilote et de poursuite éventuelle de l'exploitation du centre de stockage Cigéo.

1.5 Besoins fonciers du projet global Cigéo

1.5.1 Emprises des installations du centre de stockage Cigéo

Les emprises du centre de stockage Cigéo relevant de la déclaration d'utilité publique regroupent d'une part celles de la zone d'intervention potentielle des installations de surface sur 665 ha (zone descenderie, zone puits, liaison intersites et installation terminale embranchée) et d'autre part celles de la zone d'implantation des ouvrages souterrains sur 2 864 ha, soit environ 29 km² (descenderie et zone de stockage). Pour la gestion des matériaux excavés par les travaux de réalisation des derniers ouvrages souterrains, une extension de la zone de dépôt d'environ 56 ha, pourrait devoir être aménagée dans

plusieurs décennies en cas de non-disponibilité dans le temps des filières de valorisation. Située au nord de la zone puits en milieu boisé, cette extension n'affecterait aucune surface agricole.

La zone d'intervention potentielle de 665 ha regroupe :

- les emprises potentielles des installations évaluées à 573 ha ;
- une marge d'incertitude correspondant pour les infrastructures linéaires à une bande tampon de 20 m de largeur établie de part et d'autre de la liaison intersites (LIS), de l'installation terminale embranchée (ITE) soit 90 ha et aux plateformes de chantiers provisoires pour l'aménagement des ouvrages des rétablissements de cette dernière soit 2 ha.

Les surfaces identifiées à ce jour comme nécessaires à la construction et à l'exploitation du centre de stockage Cigéo sont localisées sur la figure 1.5-1. Elles distinguent les installations de surface et la zone d'implantation des ouvrages souterrains.

Le centre de stockage Cigéo comprend donc :

- une zone descenderie de 296 ha ;
- une zone puits de 202 ha ;
- une liaison intersites de 46 ha ;
- une installation terminale embranchée de 121 ha.
- une zone d'implantation des ouvrages souterrains d'environ 29 km² (2 864 ha).

37 % des emprises foncières de la zone d'intervention potentielle de surface sont situées sur le département de la Haute-Marne (248 ha) et 63 % en Meuse (417 ha). Quant à la zone d'implantation des ouvrages souterrains, elle est intégralement localisée en Meuse (2 864 ha dont 224 ha sous les emprises des installations de surface de la zone puits et de la liaison intersites).

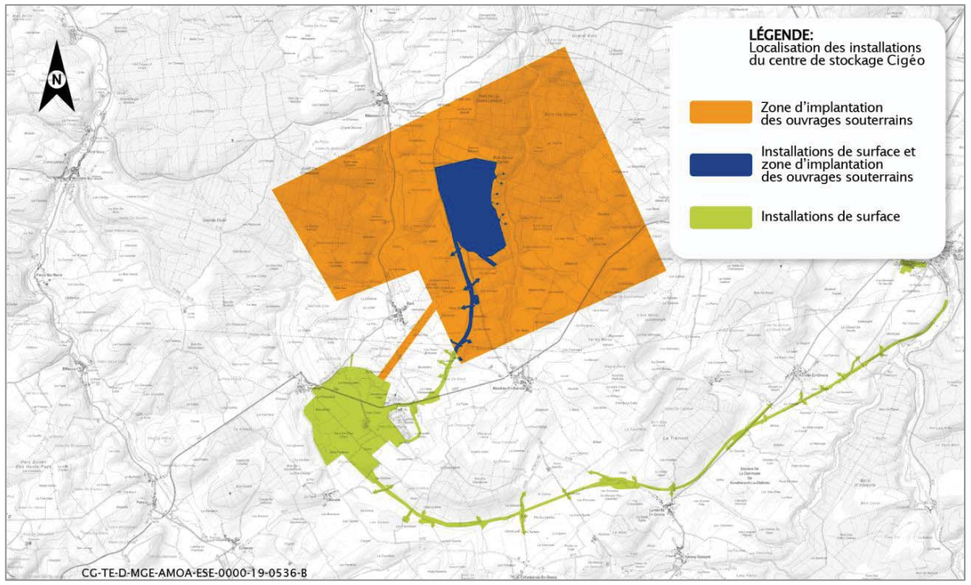


Figure 1.5-1 Localisation des installations du centre de stockage Cigéo

1.5.1.1 Zone d'intervention potentielle pour les installations de surface

Les emprises foncières de la zone d'intervention potentielle de surface se répartissent majoritairement sur les communes de Mandres en Barrois (30 %), Saudron (26 %) et Bure (18 %).

Tableau 1.5-1 Répartition communale des emprises de la zone d'intervention potentielle de surface

	Dép. 55					Dép. 52			
	Bonnet	Bure	Gondrecourt-le-Château	Horville-en-Ornois	Mandres-en-Barrois	Cirfontaines-en-Ornois	Gillaumé	Saudron	Total
Zone d'intervention potentielle	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
Installation terminale embranchée			62	21		29	9		121
Liaison intersites		35			11				46
Zone descenderie		86					37	173	296
Zone puits	11				191				202
Surface Totale (ha)	**11**	**121**	**62**	**21**	**203**	**29**	**46**	**173**	**665**
Répartition (%)	**2**	**18**	**9**	**3**	**30**	**4**	**7**	**26**	**100**

L'occupation des sols sur cette zone d'intervention potentielle est majoritairement composée de surfaces agricoles 388 ha (dont 68 ha dans la marge d'incertitude) et d'espaces boisés pour 204 ha (cf. Tableau 1.5-2).

Tableau 1.5-2 Occupation des sols de la zone d'intervention potentielle

	Répartition de l'occupation des sols de l'état initial								
	Agricole		Bois et bosquets		Milieux ouverts (fourrés, pelouse...)		Milieux artificiels		Total
Zone d'intervention potentielle	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)
Installation Terminale Embranchée	67	55	4	4	30	25	20	17	121
Liaison intersites	43	93	0	0	1	0	3	7	46
(dont marge d'incertitude)	(68)	(73)	(3)	(3)	(14)	(16)	(8)	(7)	(92)
Zone descenderie	276	93	3	1	1	0	16	5	296
Zone puits	2	1	196	97	1	0	3	2	202
Surface Totale (ha)	**388**	**58**	**204**	**31**	**33**	**5**	**42**	**6**	**665**

FT/IGN, ASP, DGFiP, DRAAF Grand-Est- OSCOM 2014

Plus de 95 % de la surface agricole concernée sont des terres labourables majoritairement localisées sur la zone descenderie à plus de 72 % (cf. Tableau 1.5-3). Les surfaces de prairies sont essentiellement localisées en zone inondable de la vallée de l'Orge et représentent moins de 5 %. L'assolement moyen des surfaces des terres labourables se compose principalement de culture de colza, de blé, d'orge et dans une moindre importance de maïs, de pois et de tournesol.

Tableau 1.5-3 Répartition de l'occupation des terres agricoles

		Répartition des terres agricoles			
		Surface agricole (ha)	Terre labourable (ha)	Prairie (ha)	TL/SA (%)
Installations de surface	**MOA**	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
Installation terminale embranchée	**Andra**	67	59	8	88
Liaison intersites	**Andra**	43	43	1	98
Zone descenderie	**Andra**	277	266	10	96
Zone puits	**Andra**	2	2	0	100
Emprises agricoles de la zone d'intervention potentielle		**388**	**370**	**19**	**95**

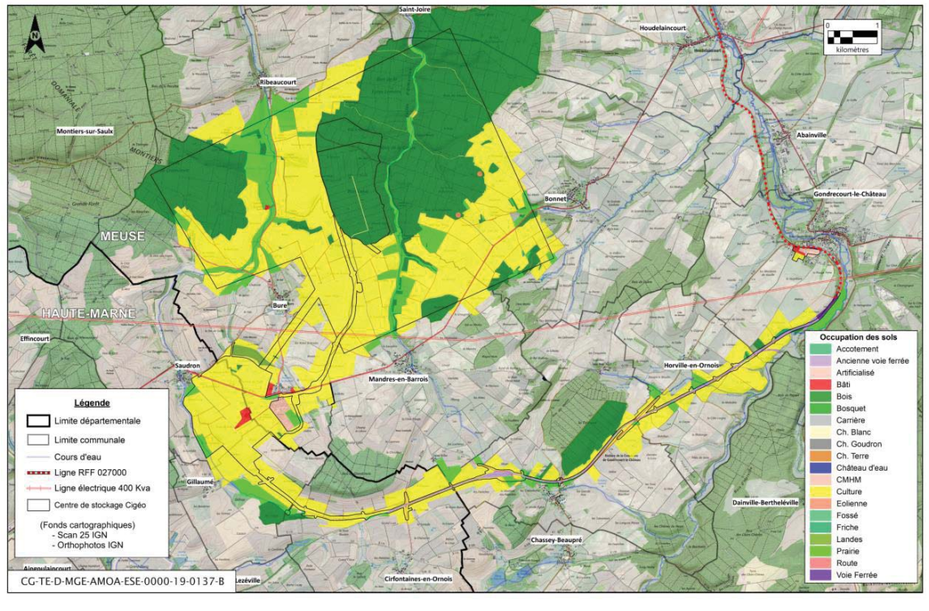


Figure 1.5-2 Carte d'occupation des sols du centre de stockage Cigéo

Plus de 59 % des emprises agricoles sont localisées en Haute-Marne et quasi la totalité des emprises boisées en Meuse (cf. Tableau 1.5-4).

Tableau 1.5-4 *Répartition départementale des surfaces agricoles et forestières*

	Répartition de l'occupation des sols de l'état initial								
	Agricole		Bois et bosquets		Milieux naturels		Milieux artificiels		Total
Répartition départementale des emprises de la zone d'intervention potentielle	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)
Haute-Marne	227	59	2	1	4	12	14	34	248
Meuse	161	41	202	99	28	88	27	66	417
Surface totale	388	100	204	100	32	100	42	100	665

FT/IGN, ASP, DGFiP, DRAAF Grand-Est- OSCOM 2014

Les emprises agricoles se répartissent sur sept communes avec une part moyenne de la surface agricole communale de 5 %. Mais elle est de l'ordre de 22 % à Saudron, 9,6 % à Gillaumé et 8,8 % à Bure (cf. Tableau 1.5-5).

Tableau 1.5-5 *Part communale des surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo*

		Surface agricole		
		Communale	Zone d'intervention potentielle Cigéo	
Installations de surface	Dép.	(ha)	(ha)	(%)
Cirfontaines-en-Ornois	52	984	23	2
Gillaumé	52	466	45	10
Saudron	52	726	160	22
Bure	55	1 280	112	9
Gondrecourt-le-Château	55	2 279	25	1
Horville-en-Ornois	55	686	11	1
Mandres-en-Barrois	55	1 289	13	1
Surface totale		7 710	388	

FT/IGN, ASP, DGFiP, DRAAF Grand-Est- OSCOM 2014

La maîtrise foncière par l'Andra des zones destinées à accueillir les installations de surface est nécessaire pour une réalisation maîtrisée et sécurisée des travaux d'aménagements préalables et de construction initiale du centre de stockage Cigéo. En vue d'en acquérir la maîtrise foncière, l'Andra a, dès 2008, procédé à des acquisitions amiables afin de constituer une réserve foncière suffisante pour procéder à des échanges permettant de préserver les filières agricoles et forestières.

1.5.1.2 Zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

Quant à la zone d'implantation des ouvrages souterrains, elle se répartit à plus de 90 % sur trois communes : Bonnet (42 %), Bure (27 %) et Mandres-en-Barrois (21 %) (cf. Tableau 1.5-6).

Tableau 1.5-6 *Répartition communale des emprises de la zone d'implantation des ouvrages souterrains*

	Dép. 55						
	Bonnet	Bure	Houdelaincourt	Mandres en Barrois	Ribeaucourt	Saint-Joire	Total
Zones d'installation	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
Sous emprises des installations de surface	11	13	0	200	0	0	224
Hors emprises des installations de surface	1 177	769	1	411	275	5	2 638
Total communal (ha)	1 188	783	1	611	275	5	2 862
Proportion communale (%)	41	27	0	21	10	0	100

L'occupation des sols au-dessus de la zone d'implantation des ouvrages souterrains hors emprises des installations de surface de la zone puits et de la liaison intersites est peu différente de celle de la zone d'intervention potentielle avec 56 % de sols agricoles, 42 % de surfaces boisée et de 2 % de surface artificialisées (chemins et routes principalement).

Pour réaliser l'aménagement des ouvrages souterrains hors emprises des installations de surface, l'Andra doit en maîtriser le tréfonds (Article L. 542-10-1 du code de l'environnement) y compris hors emprises de la zone puits, de la zone descenderie et de la liaison intersites (cf. Figure 1.5-3).

Le tréfonds désigne un volume de roche se trouvant sous la surface du sol et dont l'épaisseur est définie en fonction de côtes NGF (Nivellement Général de la France) pour établir la limite inférieure et la limite supérieure du volume concerné.

Pour le centre de stockage Cigéo, le tréfonds retenu pour les ouvrages souterrains de stockage est compris entre la cote NGF (+100 m) et la cote NGF (-400 m). En fonction de l'altimétrie de surface la cote NGF de + 100 m est à une profondeur de 197 m à 305 m. En limite de la zone descenderie, les deux descenderies sont à une profondeur de 100 m.

L'Andra n'a pas prévu d'acquérir les terrains situés à la verticale des ouvrages de stockage, si ceux-ci n'accueillent pas d'installations de surface du centre de stockage Cigéo. Les activités d'exploitation et de creusement des ouvrages de stockage n'ont pas d'effet sur les usages essentiellement agricoles et forestiers menés sur ces terrains. En particulier, compte tenu de la profondeur (de l'ordre de 500 m) et de la nature des couches géologiques, les vibrations induites par les machines sont imperceptibles en surface et les rayonnements émis par les colis de déchets n'augmentent pas le niveau du rayonnement émis naturellement par le sol. Par ailleurs, durant la période de fonctionnement et sur de très longues échelles de temps après la fermeture définitive du centre de stockage (plusieurs centaines de milliers d'années), aucun radionucléide n'est susceptible de migrer au travers du milieu géologique jusqu'en surface.

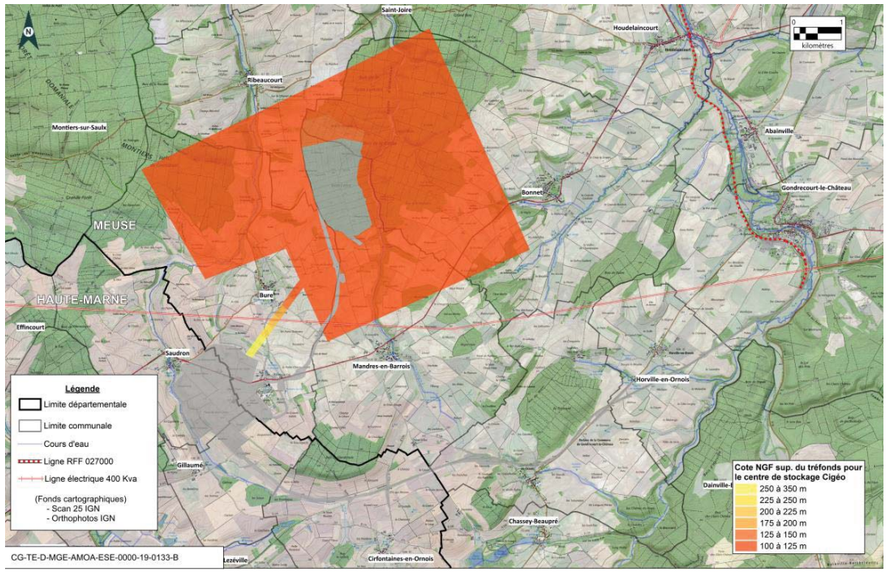


Figure 1.5-3 Localisation et profondeur de la zone de tréfonds (ZIOS)

1.5.2 Les emprises foncières des autres opérations liées à la construction et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo

Aux emprises foncières agricoles du centre de stockage Cigéo s'ajoutent celles nécessaires aux autres opérations liées à sa construction et son fonctionnement. La nature et l'implantation de ces aménagements n'étant pas finalisées, une estimation des emprises agricoles a été faite :

- environ 6 ha de surface agricole pour le poste électrique 400 kV sur une surface totale estimée de 6 ha ;
- environ 9 ha pour la déviation de la route départementale D60/960 selon les options à l'étude sur une surface totale estimée de 10 ha;
- environ 9 ha pour la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 (emprises supplémentaires de part et d'autre de la ligne existante pour l'aménagement de rétablissements ou de rabattements notamment de chemins agricoles) sur une surface totale estimée de 43 ha ;
- environ 1 ha pour l'adduction d'eau (pompes et surpresseurs, accès) sur une surface totale estimée de 1 ha ;
- environ 2 ha pour l'opération de caractérisation et de surveillance environnementale (plateformes de forage) sur une surface totale estimée 2 ha.

1.5.3 Les besoins fonciers de compensations environnementales

L'article R. 122-14 du code de l'environnement donne une définition des mesures compensatoires qui ont pour objet d'apporter une contrepartie aux effets négatifs notables, directs ou indirects, du projet qui n'ont pu être évités ou suffisamment réduits. Elles sont mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité de celui-ci afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Elles

doivent permettre de conserver globalement et, si possible, d'améliorer la qualité environnementale des milieux.

L'évaluation des incidences du projet sur l'environnement présentée dans l'étude d'impact du projet global Cigéo utilise les éléments d'appréciation figurant dans le tableau 1.5-7.

Tableau 1.5-7 Éléments d'appréciation du niveau d'incidence (grille indicative d'évaluation)

Niveau d'incidence	Éléments d'appréciation
Positif	Amélioration directe ou indirecte du milieu générée par la réalisation du projet
Très faible	Altération nulle ou marginale du milieu naturel
Faible	Altération d'habitats ou d'espèces qui ne remet pas en cause son état de conservation et/ou son cycle biologique
Moyen/modéré	Destruction ou dégradation d'habitats ou d'espèces à enjeu faible à moyen, susceptible de remettre en cause une partie du cycle biologique de l'espèce (ex : alimentation) et d'altérer l'état de conservation d'une partie de son habitat. Porte sur des espèces ou habitats d'intérêt départemental
Fort	Destruction ou dégradation importante d'habitats ou d'espèces à enjeux moyen à fort, qui remet en cause le cycle biologique d'une espèce et/ ou l'état de conservation de son habitat. Porte sur des espèces ou habitats d'intérêt régional.
Très fort	Destruction ou dégradation très importante d'habitats ou d'espèces à enjeu fort à très fort, qui remet en cause le cycle biologique d'une espèce et/ ou l'état de conservation de son habitat. Porte sur des espèces ou habitats présentant un intérêt national

Une évaluation des incidences résiduelles du projet sur le milieu naturel des surfaces impactées a été réalisée. Cette évaluation se base sur les données quantitatives : effectifs des espèces et surfaces des habitats concernés et prend en compte les mesures d'évitement et de réduction. Les besoins de compensation sont ensuite calculés par grands types de milieux écologiques.

Parmi ces milieux, les surfaces agricoles ont fait l'objet d'une évaluation écologique démontrant la nécessité de compenser une dette écologique pour l'ensemble du projet de centre de stockage Cigéo.

Tableau 1.5-8 Synthèse de la dette écologique des milieux agricoles

Dette Cigéo (à terminaison ; tous projets)	Surface nécessitant compensation (ha)			Dette écologique estimée (UC)			Principaux groupes faunistiques impactés
	Installations	Surface tampon	Plateformes chantier	Installations	Surface tampon	Plateformes chantier	
Milieu cultivé	169	33	1	158	17.65	0.5	Oiseaux
Milieu prairial	22	20.8	0.2	41	19.3	0.1	Tous groupes
Total	**191**	**53.8**	**1.2**	**199**	**36,8**	**1,5**	

Pour répondre aux besoins de compensation environnementale de la perte de biodiversité des milieux ouverts impactés par la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo, des mesures compensatoires sur des surfaces agricoles ont été définies :

- **Milieux prairiaux :**
  - ✓ **MC P1** : recréation de prairies et/ou pelouses (à partir de terres arables ou de friches post-culturales) ;
  - ✓ **MC P2** : restauration de prairies permanentes naturelles diversifiées ;
  - ✓ **MC P3** : restauration de pelouses calcicoles dégradées ;
  - ✓ **MC P4** : maintien à très long terme et gestion conservatoire de prairies permanentes ;
  - ✓ **MC S1 :** création ou restauration de haies pluristratifiées (> 2 m de largeur) ;
  - ✓ **MC S2 :** mise en place de bandes enherbées permanente en lisières ou en pied de haies (> 5 m de largeur).
- **Milieux cultivés :**
  - ✓ **MCC1 :** passage en agriculture biologique pour les grandes cultures conventionnelles ;
  - ✓ **MCC2 :** passage en agriculture sans labour (agriculture de conservation) avec couvert obligatoire diversifié ;
  - ✓ **MCC3 :** création de jachères longue durée (5 ans) d'une prairie (3ans) avec une gestion extensive ;
  - ✓ **MC S1 :** création ou restauration de haies pluristratifiées (> 2 m de largeur) ;
  - ✓ **MC S2 :** mise en place de bandes enherbées permanente en lisières ou en pied de haies (> 5 m de largeur).

Pour ce besoin de compensation environnemental des milieux ouverts, l'Andra privilégie les surfaces agricoles dont elle est propriétaire ou en stock SAFER pour y développer des mesures proposées en y adaptant les pratiques agricoles afin de favoriser la biodiversité. Plusieurs sites ont été présélectionnés pour la mise en œuvre de ces mesures :

Tableau 1.5-9 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces prairiales

Sites	Dép.	État initial	Surface des mesures	Distance du Centre de stockage Cigéo
Saudron **Bande ouest sur la zone descenderie**	52	Culture	9,6 ha	-
Lamorville **Site ouvert situé à proximité de l'Abbaye de l'Étanche**	55	Friche/Pelouse	23,3 ha	52 km
Morley-Couvertpuis **Prairies**	55	Prairie	20,2 ha	9 km
Gondrecourt-le-Château **Site de Ruère en bordure de lisière**	55	Lisière	1,5 ha	6 km

Tableau 1.5-10 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces des milieux cultivés

Sites	Dép.	État initial	Surface des mesures	Distance du Centre de stockage Cigéo
Saudron **Parcelle le long de l'Orge sur la zone descenderie**	55	Culture	18 ha	-

Sites	Dép.	État initial	Surface des mesures	Distance du Centre de stockage Cigéo
Bertheléville	55	Culture	8,2 ha	11 km
	55	Culture	36,2 ha	
Gondrecourt-Le-Château	55	Culture	13,4	15,5 km
Thonnance-LES-moulins	52	Culture	22,0 ha	10 km
Cirfontaines-en-Ornois	52	Culture	5,8 ha	5 km
Horville-en-Ornois	55	Culture	6,7 ha	9,5 km
Lamorville **Site ouvert situé à proximité de l'Abbaye de l'Étanche**	55	Friche/Pelouse	28,9 ha	52 km

Ces mesures compensatoires environnementales sont décrites pour chaque site de compensation écologique des milieux prairiaux en Annexe 1 et pour chaque site de compensation écologique des milieux cultivés en Annexe 2.

1.6 Délimitation du territoire agricole concerné

1.6.1 Les emprises du projet global Cigéo sur des surfaces agricoles

Les besoins fonciers du projet global Cigéo sont multiples et d'ampleurs différentes selon la nature des aménagements à réaliser. Certains d'entre eux conduiront au retrait définitif de surface à vocation agricole et d'autres à des occupations temporaires ou à des changements de pratiques culturales.

Ces surfaces agricoles concernées par le projet global Cigéo comprennent :

- d'une part celles associées aux installations de surfaces du projet global Cigéo (cf. Tableau 1.6-1) qui varient de 347 ha à 415 ha en fonction des marges d'incertitudes pour les aménagements linéaires de la liaison intersites (LIS) et de l'installation terminale embranchée (ITE).

Tableau 1.6-1 Surfaces agricoles concernées par le projet global Cigéo

Installations	Surfaces agricoles	
	Emprise minimale (ha)	Emprise maximale (ha)
Emprise agricole des installations de surface du centre de stockage Cigéo (+ marge d'incertitude 68 ha)	320	388
Poste RTE 400 kV et Ligne 400 kV	6	
Déviation route départementale D60/960	9	
Rétablissements L027000	9	

Installations	Surfaces agricoles	
	Emprise minimale (ha)	Emprise maximale (ha)
Réseau d'adduction d'eau	1	
Opération de caractérisation et surveillance	2	
Total	**347**	**415**

- D'autres part, celles dédiées aux compensations environnementales des milieux ouverts :
  - ✓ surfaces agricoles de compensation des milieux prairiaux (Hors zone descenderie) : 45 ha
  - ✓ surfaces agricoles de compensation des milieux cultivés (Hors zone descenderie) : 121 ha

Total de 166 ha

1.6.2 Justification de la délimitation du territoire agricole concerné

Les emprises sur des surfaces agricoles nécessaires aux installations de surface du projet global Cigéo qui seront définitivement aménagées et donc soustraites de toute activité de production, sont essentiellement des terres labourables utilisées pour de grandes cultures. Moins de 5 % sont occupées par des prairies (cf. Figure 1.6-1).

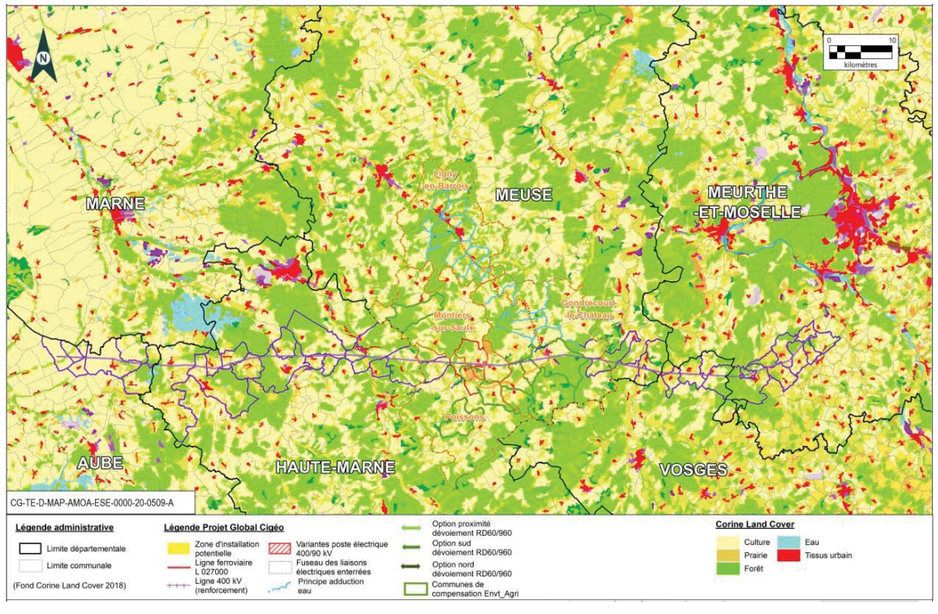


Figure 1.6-1 Occupation des sols de l'état initial du projet global Cigéo

Aucun bâtiment agricole ou aménagement spécifique pour certaines productions ne sont directement concernés par les futurs aménagements du projet global Cigéo. Des activités agricoles seront maintenues sur les sites identifiés pour les mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts.

Compte tenu de ces emprises agricoles, le territoire d'étude présenté sur la carte de la figure 1.6-2 a été défini pour tenir compte de l'impact potentiel du projet :

- sur le volume de la production en fonction du parcellaire concerné ;
- sur les structures amont, la première transformation et la commercialisation de la production : localisation des sites de proximité (silos, magasins, siège etc.) et des aires d'influence des opérateurs économiques.

Le territoire d'étude présenté sur la carte de la figure 1.6-2 permet d'appréhender l'impact potentiel du projet sur l'économie agricole. Il prend en compte l'organisation locale des filières et les aires d'influence des opérateurs économiques. Il couvre les structures amont, la première transformation et la commercialisation de la production.

Ce territoire, assez étendu, correspond à 4 anciens cantons dont 3 en Meuse et 1 en Haute-Marne (Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois et celui de Poissons).

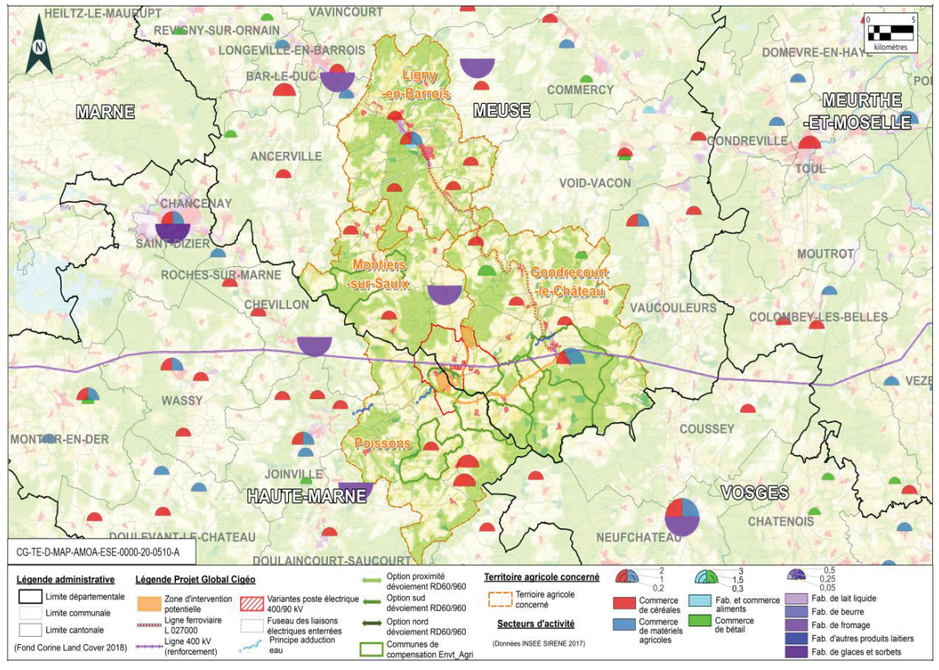


Figure 1.6-2 Délimitation du territoire agricole concerné

Synthèse : 1 - Description du projet et délimitation du territoire concerné

Cigéo est le projet français de centre de stockage profond de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue, porté par l'Andra. Ce projet comprend quatre grandes infrastructures de surface (zone descenderie, zone puits, liaison intersites et installation terminale embranchée) et une partie souterraine avec les ouvrages de stockage.

Le « projet global Cigéo » comprend les opérations (installations, aménagements et constructions d'ouvrages), situées hors du centre de stockage, nécessaires à la réalisation et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Ces opérations comprennent l'alimentation électrique par un raccordement sur la ligne existante 400 kV Houdreville-Méry, l'adduction d'eau potable depuis les captages de Thonnance-les-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-Le-Château, la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château, la déviation de la route départementale D60/960 et des opérations de caractérisation et de surveillance environnementale menées par l'Andra à l'extérieur du centre de stockage Cigéo pour acquérir des connaissances et contrôler le fonctionnement de ses installations.

Le projet est situé dans la région Grand-Est de la France à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Sa réalisation nécessite une surface importante dont plus de la moitié correspond à des terres agricoles. La zone d'intervention potentielle pour le centre de stockage en particulier couvre un maximum de 388 hectares de terres agricoles auxquels viennent s'ajouter 27 ha les opérations liées aux besoins de fonction du centre de stockage Cigéo.

Ainsi, le projet global Cigéo pourrait concerner entre 347 ha et 415 ha selon les implantations définitives des différents aménagements, d'emprises actuellement en surface agricole contribuant à l'économie agricole.

Par ailleurs, l'évaluation des incidences résiduelles du projet sur le milieu naturel des surfaces impactées met en évidence le besoin de mise en œuvre de mesures de compensation écologique sur une surface agricole de 166 ha (hors zone d'implantation).

Le territoire concerné, compte tenu de la localisation des opérations nécessaires à sa réalisation et des acteurs des filières contribuant à l'économie agricole locale correspond aux quatre anciens cantons de Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois en Meuse et de Poissons) en Haute-Marne. Il permet d'appréhender l'impact potentiel du projet sur l'économie agricole. Il couvre les structures amont, la première transformation et la commercialisation de la production et prend en compte l'organisation locale des filières et les aires d'influence des opérateurs économiques.

2

Analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné

2.1 Définition des aires d'étude 77
2.2 Contexte agricole régional et départemental 82
2.3 Activités agricoles sur le territoire concerné (aire d'étude éloignée) 94
2.4 Activités agricoles sur les aires d'étude rapprochées du territoire concerné 129
2.5 État initial pour les autres opérations du projet global Cigéo 143
2.6 Synthèse des enjeux agricoles du projet global Cigéo 154

2.1 Définition des aires d'étude

Les emprises du projet global Cigéo sont majoritairement situées sur des terrains agricoles et forestiers qui représentent une grande part de l'activité économique locale.

Pour analyser l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné, plusieurs échelles d'étude ont été définies afin de couvrir les enjeux agricoles associés aux implantations de surface du centre de stockage Cigéo et aux aménagements du projet global Cigéo (cf. Figure 2.1-1) :

- aire d'étude éloignée correspondant au territoire concerné : 4 anciens cantons couvrant les emprises de la zone d'intervention potentielle et les sites d'implantation des opérateurs économiques des filières amont et aval ;
- aires d'étude rapprochée des implantations du centre de stockage apportant un éclairage sur l'activité agricole des communes du territoire concerné directement affectées par les surfaces prélevées (groupes de 7 et 3 communes couvrant les emprises agricoles de la zone d'intervention potentielle) ;
- aires d'étude des aménagements linéaires existants : ligne ferroviaire 027000 et ligne électrique 400 kV.

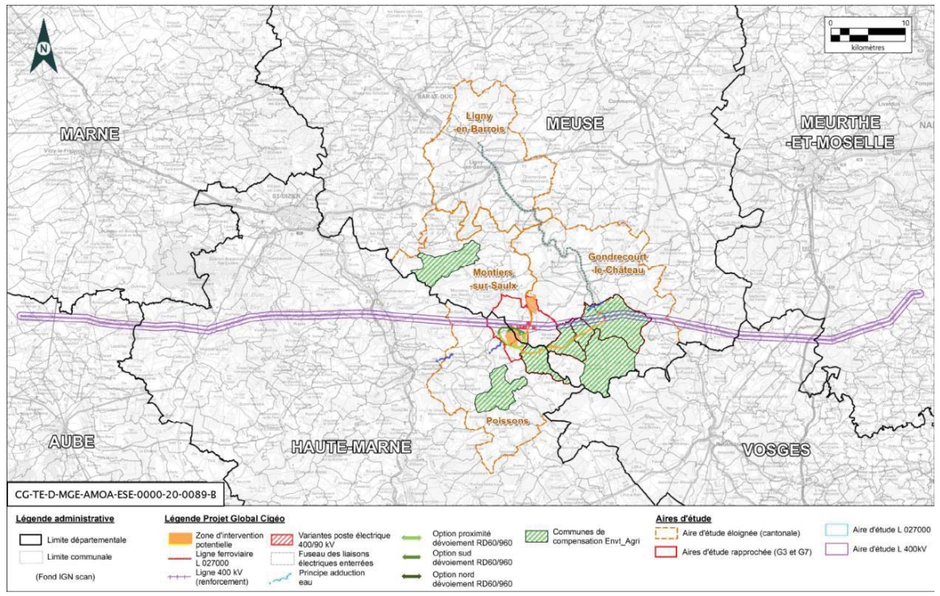


Figure 2.1-1 Aires d'étude agricole du projet global Cigéo

2.1.1 Aire d'étude éloignée du projet global Cigéo

Une échelle d'étude macro a été définie sur la base d'anciens cantons dont 3 en Meuse (Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois) et 1 en Haute-Marne (Poissons) pour couvrir les installations du centre de stockage Cigéo mais également quelques aménagements du projet global Cigéo dont les emprises agricoles sont les plus importantes (ligne ferroviaire 027000). Les sites de compensation environnementale sur des surfaces agricoles encore exploitées sont également dans cette aire d'étude.

Les 4 anciens cantons ont été retenus car ils couvrent les périmètres d'échange d'agrofournitures et de collecte céréalières des exploitations agricoles concernées par les emprises du centre de stockage Cigéo.

Les établissements des filières sont en particulier les silos agricoles; les concessionnaires de machinisme agricole, les ateliers de réparation, les magasins de pièces d'entretien et d'équipement d'élevage, les fromageries. Au-delà de ce périmètre, les échanges sont plus diffus. Ce choix du périmètre d'anciens cantons a été privilégié pour assurer la continuité de l'analyse de données agricoles historiques avant le redécoupage cantonal de 2014.

À cette échelle, il est possible d'évaluer les enjeux agricoles non seulement pour les exploitations mais également pour les filières amont et aval qui dépendent de ce bassin de production (les productions, l'industrie agroalimentaire, l'image des produits, les structures d'exploitation, l'emploi agricole

L'état initial de cette aire d'étude dite « **éloignée** », correspondant au territoire concerné, est resitué dans le contexte de la région Grand-Est et ceux des départements de Meuse et de Haute-Marne afin d'identifier les éventuelles particularités locales.

2.1.2 Aires d'étude rapprochée du centre de stockage Cigéo

Un deuxième niveau correspond aux communes directement concernées par une consommation de surfaces agricoles induite par l'implantation du centre de stockage et pouvant perturber l'activité agricole locale. Parmi les 8 communes de la zone d'intervention potentielle, 7 d'entre-elles ont des emprises agricoles concernées par le centre de stockage. 80 % des surfaces agricoles touchées sont sur 3 de ces communes. La commune de Bonnet n'est concernée que par le déploiement de la zone puits en milieu boisé.

- le groupe G7 réunit les 7 communes concernées par l'ensemble des emprises agricoles consommées par le centre de stockage Cigéo (Cirfontaines-en-Ornois, **Gillaumé, Saudron, Bure**, Mandres-en-Barrois, Gondrecourt-le-Château, Horville-en-Ornois) ;
- le groupe G3 réunit les 3 communes représentant plus de 80 % des emprises agricoles (Gillaumé, Saudron, Bure).

Ces deux aires d'étude rapprochées couvrent également les scénarios d'implantation du dévoiement de la route départementale D60/960, du poste électrique 400 kV (cf. Figure 2.1-2).

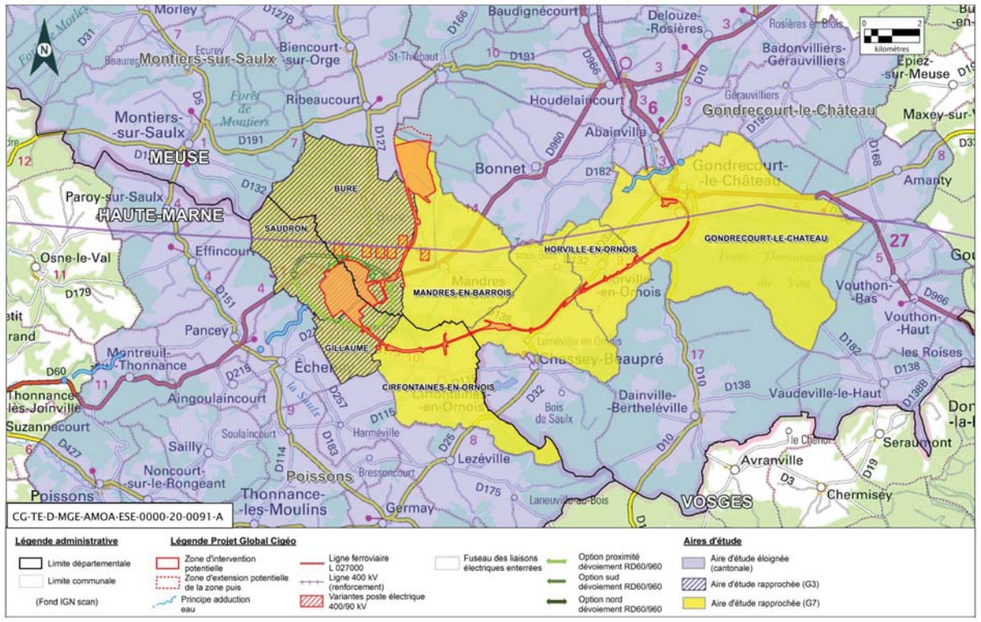


Figure 2.1-2 Aires d'étude rapprochées du centre de stockage Cigéo

2.1.3 Aires d'étude des autres aménagements

Pour l'étude de l'état initial au niveau des infrastructures linéaires existantes devant faire l'objet d'une part du renforcement de pylônes électriques et d'une liaison optique enterrée pour la ligne électrique 400 kV et d'autre part d'une remise en service de la voie ferrée ferroviaire 027000, l'analyse est établie à partir de données agricoles des parcellaires traversés par ces infrastructures et sur une bande tampon :

- ligne électrique 400 kV : couloir de 500 m de part et d'autre de la ligne concernée sur les 124 km de longueur du tronçon ;
- ligne ferroviaire 027000 : couloir de 15 m de part et d'autre la ligne concernée et de 50 m de rayon autour de chaque rétablissement.

Les aires d'étude agricole des aménagements de dévoiement de la route départementale D60/960 et du poste électrique 400/90 kV dont l'implantation n'est pas arrêtée portent sur le parcellaire agricole de chaque scénario envisagé.

2.1.4 Données agricoles de l'état initial

L'analyse de l'état initial de l'économie agricole s'appuie sur des données statistiques établies à différentes échelles et à plusieurs périodes d'actualisation. Certaines de ces données ont été concaténées et retraitées pour les besoins de cette étude par le SRISE (Service Régional de l'Information Statistique et Économique Grand-Est) sous forme de « Fiches territoires ».

Toutes les données statistiques agricoles utilisées pour cette étude sont extraites d'une part de documents de synthèse et d'extractions de données réalisées à l'échelle des aires d'étude (cf. Tableau 2.1-1) :

Tableau 2.1-1 Documents de statistiques agricoles et extractions de données

Types données	Auteur	Couverture	Échelle	Données	Année
Document disponible en ligne	Agreste Grand-Est	Région GE	Département	Panorama agricole, agroalimentaire et forestier de la région Grand-Est	2017
Document disponible en ligne	Agreste Grand-Est	Région GE	Département	Mémento statistique agricole	2018-2019
Document disponible en ligne	Agreste Grand-Est	Région GE	Département	Mémento de l'emploi	2018-2019
Document disponible en ligne	Agreste Grand-Est	Région GE	Région	Mémento des signes officiels de qualité et d'origine SIQO	2018
Document disponible en ligne	Agreste Grand-Est	Dép. 52-55	Département	Synthèse départementale	2017
Documents disponibles en ligne et extractions de données sur demande	SRISE	Dép. 52-55	Département	Fiches territoires	2018
		Anciens cantons	Cantons		
		G3 G7	Regroupement de communes		

Types données	Auteur	Couverture	Échelle	Données	Année
Extraction de données en ligne	Agreste Grand-Est	Dép. 52-55	Département	Recensement Général Agricole	2010
		Anciens cantons	Cantons		
		Commune	Commune		
Document disponible en ligne	Agreste Grand-Est	Région GE	Département	L'activité laitière Production	2016
Extraction de données sur demande	ASP	Région GE	Département	PAC	2012 à 2018
Document disponible en ligne	INAO	AOP/AOC	Appellation	Productions	2015-2017

Plusieurs organismes et bases de données ont été consultés pour disposer des données statistiques agricoles (cf. Tableau 2.1-2).

Tableau 2.1-2 Organismes et bases de données

Organismes et bases de données	Liens Internet	Données
ASP/PAC Agence de services et de paiement	https://www.asp-public.fr	Occupation des sols Surfaces cultures Aides PAC
ADEME Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	https://grand-est.ademe.fr	Diversification
Agence BIO Agence Française pour le Développement et la Promotion de l'Agriculture Biologique	https://www.agencebio.org	Agriculture Biologique
AGRESTE Service de statistiques du Ministère de l'Agriculture	https://agreste.agriculture.gouv.fr	Structure Production Surface Cheptel RGA
BDNI Base de données nationale de l'identification	https://agriculture.gouv.fr	Cheptel
CIVC Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne	https://maisons-champagne.com	Viticultures
DATA Plateforme ouverte des données publiques françaises	https://www.data.gouv.fr	Occupation des sols
DATA Direction générale des Finances publiques	https://portail.dgfip.finances.gouv.fr	Occupation des sols

Organismes et bases de données	Liens Internet	Données
DRAAF Grand-Est Direction Régionale De L'alimentation De L'agriculture Et De La Forêt Grand-Est	http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr	Occupation des sols
IGN Institut national de l'information géographique et forestière	https://www.ign.fr	Occupation des sols
MSA Mutualité Sociale Agricole	https://lorraine.msa.fr	Exploitants Emplois
INAO Institut national de la statistique et des études économiques	https://www.inao.gouv.fr	Actifs Emplois IAA
INSEE Institut national de l'origine et de la qualité	https://www.insee.fr	SIQO
OSCOM Observatoire des sols à l'échelle communale	https://www.data.gouv.fr	Occupation des sols

2.2 Contexte agricole régional et départemental

Avant même d'étudier l'état initial de l'agriculture du territoire concerné par le projet global Cigéo, il est important de le localiser au sein de la région Grand-Est dont l'agriculture est un des principaux piliers de l'activité économique non seulement pour ses productions agricoles mais également pour les filières qui en dépendent.

Le projet global Cigéo est localisé principalement dans les départements de Meuse et de Haute-Marne au cœur de la région Grand-Est (cf. Figure 2.2-1) qui couvre 57 800 km² dont 30 620 km² de surface agricole utile (SAU[24]) ce qui représente près de 11 % de la SAU nationale alors que la région Grand-Est ne représente que 9 % du territoire français (643 801 km²).

[24] SAU : La Surface Agricole Utile est une donnée statistique qui regroupe les terres arables (grandes cultures, cultures maraîchères, cultures permanentes, les cultures fourragères, prairies artificielles) ; les surfaces toujours en herbe (prairies permanentes, alpages) ; les cultures pérennes (vignobles, vergers…) et les jardins familiaux des agriculteurs.

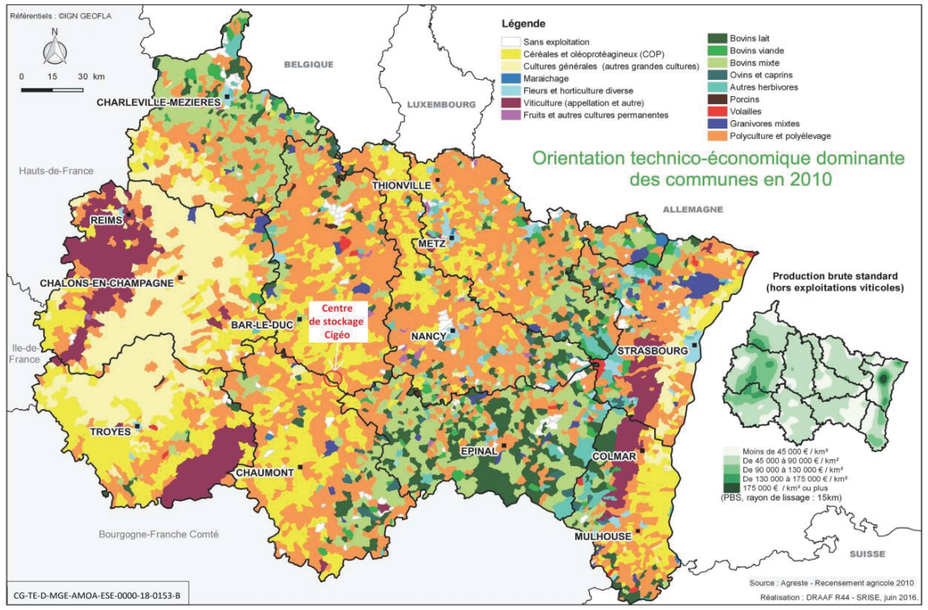


Figure 2.2-1 *Carte communale des Orientations technico-économiques dominantes en 2010*

Cette activité agricole est majeure dans les départements de Meuse et de Haute-Marne et plus particulièrement pour la région agricole du Barrois sur laquelle l'essentiel des aménagements du projet global Cigéo sera réalisé.

L'analyse de l'agriculture du territoire concerné par le projet global Cigéo est étroitement liée à celle des départements et de la Région Grand-Est dont les évolutions sont soumises aux mêmes contraintes : économiques, environnementales, climatiques et structurelles.

2.2.1 L'agriculture en région Grand-Est

En 2018, 53 % de la surface totale de la région Grand-Est sont consacrés à la surface agricole utile (SAU) avec 3 061 000 ha (39 % de terres arables, 13 % de STH et 1 % de Vigne), 34 % aux surfaces boisées (1 978 000 ha) et un peu moins de 9 % aux surfaces artificialisées (503 000 ha). 25 % de la surface agricole utile est occupée par des prairies permanentes pour 766 600 ha (STH Surface toujours en herbe). Les céréales avec plus de 1 332 000 ha couvrent 45 % de la SAU, les oléagineux 12 %, les cultures industrielles (Betterave sucrières et pommes de terre) 3,8 % et les protéagineux 1 %. Les surfaces fourragères hors prairie permanente représentent 9,6 % de la SAU. L'arboriculture fruitière occupe seulement 1 836 ha (moins de 0,06 % de la SAU) majoritairement de mirabelles (1 395 ha) et seulement 248 ha de quetsches et 193 ha de cerises griottes. Le surfaces de vignes couvrent 47 963 ha soit 1,5 % de la SAU (Source Memento Agreste Statistique agricole Grand-Est 2020).

En 2017, la région Grand-Est comptait 30 322 exploitations agricoles (Source Memento Agreste Statistique agricole Grand-Est 2020). La superficie moyenne des exploitations est de 75 ha dont 30 % s'étendent sur plus de 100 hectares. Un tiers de ces exploitations est dédié aux grandes cultures, plus d'un quart à la viticulture et environ 17 % uniquement à l'élevage. Environ 42 % des exploitations sont des structures individuelles, 9 % des GAEC (Groupement agricole en commun), 28 % en EARL (Exploitation agricole à responsabilité limitée) et 11 % d'autres formes sociétaires. 23 % des exploitants sont pluriactifs et 17 % sont âgés de plus de 60 ans.

Ces exploitations génèrent de l'ordre de 70 800 emplois à temps complet dont plus de 50 % sont tenus par les chefs d'exploitations non-salariés ((Source Memento Agreste Statistique agricole Grand-Est 2020).

Avec plus de 54 % de sa superficie dédiée à l'agriculture et plus de 10 millions de tonnes de céréales, la région Grand-Est est la deuxième pour les superficies et les volumes de production des céréales (blé, orge, maïs…) et des oléoprotéagineux (colza, pois, tournesol). Le secteur des productions végétales pèse à lui seul deux milliards d'euros soit 80 % du poids économique agricole et 13 % de la valeur nationale des comptes agricoles. Ce secteur est le troisième employeur agricole derrière la viticulture et l'élevage. Le secteur viticole représente à lui seul 36 % de la valeur de la production agricole de la région Grand-Est. Il mobilise un tiers des salariés agricoles régionaux et maintient 20 000 Unités de Travail Annuel (UTA). En 2018, la surface viticole s'élève à 47 963 ha dont pour une production totale de 4 486 milliers d'hectolitres (9 % de la production nationale) dont 81 % en AOP classées.

Le poids économique du secteur animal est inférieur à 20 % de la valeur de la production régionale. Les 6 800 exploitations qui possèdent au moins une vache permettent le maintien de l'agriculture dans les zones herbagères. En 2018, les 314 000 vaches laitières et 285 000 vaches allaitantes composaient un troupeau total bovins de plus de 1 640 000 bêtes soit 9 % du cheptel national. La production laitière représente un pilier de la production animale avec 22,98 millions d'hectolitres (10 % de la production française). La quasi-totalité est livrée à l'industrie, pour deux tiers à destination de production de fromages. La production ovine constituée d'un troupeau de 337 000 bêtes dont 220 000 brebis mères joue un rôle important dans la préservation des prairies. L'élevage porcins compte 33 000 truies pour une production 139 000 porcs à l'engraissement et 191 000 porcelets et jeunes porcs. L'élevage caprins peu présent en région représente moins de 11 000 têtes dont 8 000 chèvres. Enfin le secteur des volailles regroupe plus de 1 947 000 poules pondeuses et 5 748 000 poulets de chair soit 3 % de l'effectif national. Les productions animales permettent de conserver une part significative des emplois agricoles. Les élevages spécialisés assurent 40 % de l'emploi et pour un tiers des exploitations.

La région Grand-Est compte de nombreuses productions agricoles sous signes officiels de la qualité et de l'origine (SIQO).

PRINCIPAUX SIGNES D'IDENTIFICATION DE LA QUALITÉ ET DE L'ORIGINE (SIQO) (5)

Les labels AOP et AOC reposent sur la notion de terroir. L'appellation d'origine protégée (AOP) garantit que le produit a été transformé et élaboré dans une zone géographique déterminée. Le label AOP est un signe européen. Il protège le nom du produit dans toute l'Union européenne. La déclinaison française de l'AOP est l'AOC (appellation d'origine contrôlée). Elle protège le produit sur le territoire français. Elle constitue une étape dans l'obtention du label européen AOP.

Le label IGP repose sur la notion de savoir-faire. L'indication géographique protégée (IGP) est un signe européen qui désigne un produit dont les caractéristiques sont liées au lieu géographique dans lequel se déroule au moins sa production, son élaboration ou sa transformation.

Le label agriculture biologique garantit que le mode de production est respectueux de l'environnement et du bien-être animal. Les règles qui encadrent le mode de production biologique sont les mêmes dans toute l'Europe.

Ces productions sont principalement orientées vers :

- **La fabrication de fromages** (AOC-AOP : Brie de Meaux, Langres, Munster, IGP : Emmental français Est-Central, gruyère…) et **les produits carnés (**IGP Volailles d'Alsace, de la Champagne, du Plateau de Langres et de Bourgogne) **:** (cf. Figure 2.2-) :

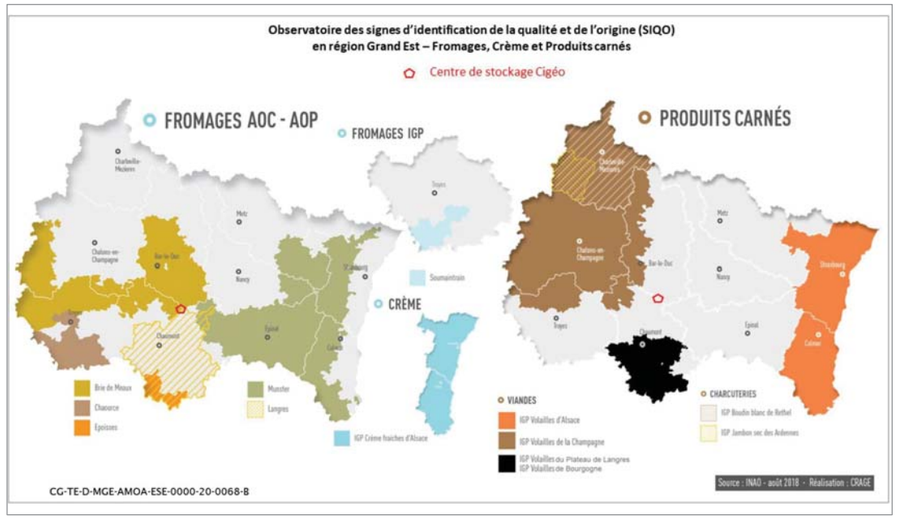


Figure 2.2- *Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Grand-Est Fromage, crème et produits carnés*

- **Les vins et spiritueux** (AOC-AOP Champagne, IGP côtes de Meuse, vins mousseux de Haute-Marne…) (cf. Figure 2.2-2) :

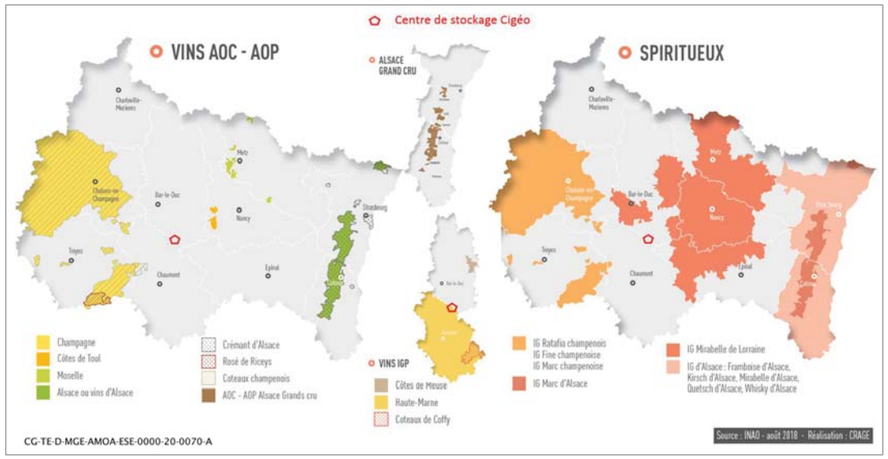


Figure 2.2-2 *Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Grand-Est Vins et spiritueux en 2018*

- **Les Fruits et Légumes (**IGP Mirabelles de Lorraine, IGP Choucroute d'Alsace) **et les produits sucrés** (IGP bergamotes de Nancy, IGP Miel d'Alsace et AOP/AOC Miel de sapin des Vosges) (cf. Figure 2.2-3) :

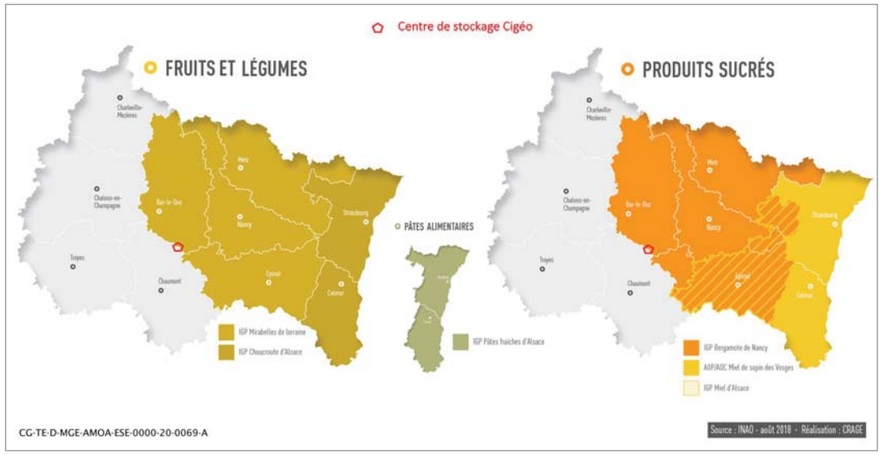


Figure 2.2-3 *Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Gand-Est Fruits, légume et produits sucrés*

- **L'agriculture biologique** :

  2 451 exploitations sont certifiées bio ou en conversion en 2018 (seulement 788 exploitations en 2008) sur une surface de 148 528 ha (surface multipliée par 3 en 10 ans) soit 4,8 % environ de la surface agricole utile totale. (Source Memento Agreste Statistique agricole Grand-Est 2020) (cf. Figure 2.2-4).

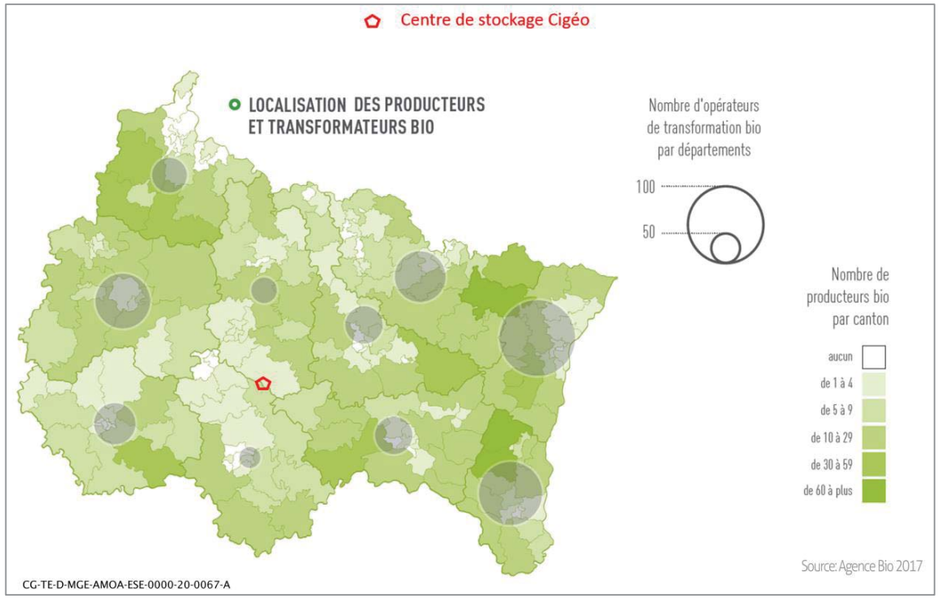


Figure 2.2-4 *Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Grand-Est Agriculture biologique en 2017*

En 2015, l'industrie agro-alimentaire de la région Grand-Est comptait 1 962 établissements dont 1 140 pour l'Industrie alimentaire (transformation et fabrication hors boissons) et 822 pour la fabrication de boissons. A ces établissements s'ajoutent ceux du commerce de gros dont 946 pour le secteur des produits agricoles bruts et d'animaux vivants et 1 724 pour les secteurs des produits alimentaires et des boissons (hors tabac). C'est au total 4 632 établissements agroalimentaires.

En 2017, le secteur des industries agroalimentaires emploie 30 047 salariés et génère environ 3,49 milliards d'euros de valeur ajoutée dont 45 % pour l'industrie alimentaire et 55 % pour la fabrication de boisson. Le tissu industriel agro-alimentaire se distingue par une grande diversité d'activités. Premier employeur, le secteur des boissons génère un emploi sur trois avec 9 836 salariés. La fabrication de produits laitiers et la transformation de viande représentent respectivement 3 442 et 3 242 salariés. La fabrication de produits de boulangerie-pâtisserie et de pâtes alimentaires regroupe 2 595 salariés. La fabrication d'autres produits alimentaires occupe la deuxième place compte plus de 8 773 salariés. Les quatre principales entreprises de l'industrie agroalimentaire avec plus de 1 000 salariés dans la région sont :

- MHCS (fabrication de vins effervescents) ;
- Cristal Union (fabrication de sucre) ;
- Nestlé Waters Supply Est (industrie des eaux de table) ;
- Mars Chocolat France (fabrication de cacao, chocolat et de produits de confiserie).

Dans ce classement, la première entreprise de fabrication de fromage est le groupe B.G. (Bongrain Gérard) avec 500 à 999 salariés. Son usine de fabrication fromagère la plus proche du projet

de centre de stockage Cigéo est située à Illoud en Haute-Marne distante de 40 km. Son activité principale est la production d'un fromage à pâte molle « Caprice des Dieux ».

Le commerce de gros des produits agricoles et alimentaires emploie dans la région 12 154 personnes pour une valeur ajoutée de 0,782 milliard d'euros. Une seule entreprise compte plus de 1 000 salariés dans la région :

- Herbalife International France (commerce de gras alimentaire spécialisé divers).

  Dans ce classement, la première entreprise de commerce de gros de céréales de semences et d'aliments pour le bétail est la coopérative Vivescia avec 500 à 999 salariés.

  L'industrie régionale optimise également l'utilisation des ressources végétales dans les domaines de l'énergie et de la chimie. (Source Memento Agreste Grand-Est 2018).

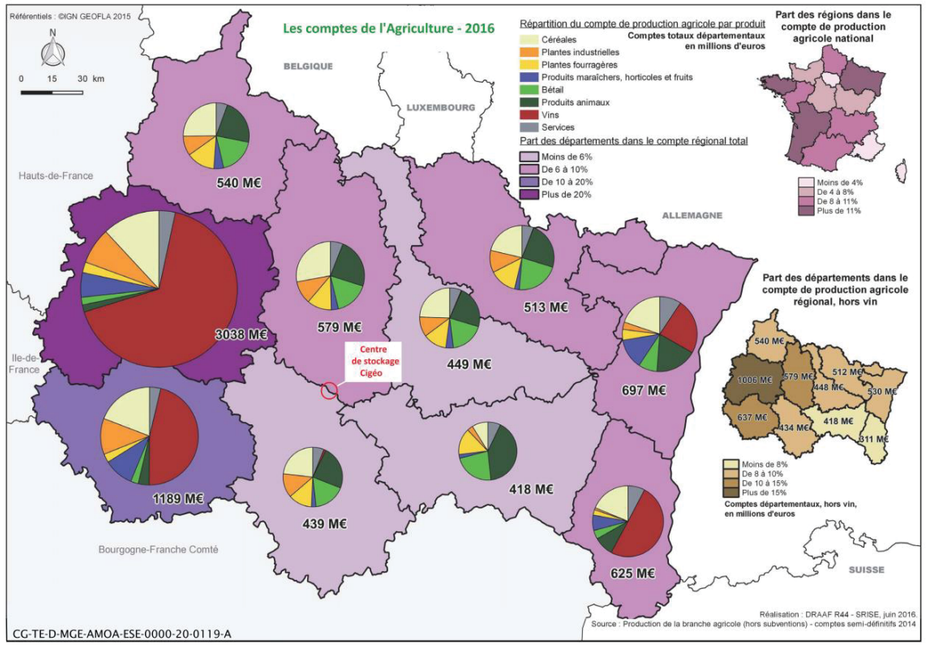


Figure 2.2-5 Les comptes de l'agriculture (Source Atlas 2016)

2.2.2 L'agriculture en Meuse et Haute-Marne

Les départements de Meuse et de Haute-Marne ont une activité agricole semblable mais avec quelques particularités pour certaines productions et activités agro-alimentaires (Sources Agreste : Mémento Statistique agricole Grand-Est 2020 et Mémento de l'Emploi Grand-Est 2019).

2.2.2.1 En Meuse

En 2018, 55 % de la surface totale du département de la Meuse est couvert par la Surface Agricole Utile (SAU) avec 343 000 ha, 37,7 % de surfaces boisées pour 235 000 ha, un peu moins de 4,6 % de surfaces artificialisées pour 29 000 ha et 2,7 % de landes et autres territoires non agricoles pour 17 000 ha (Sources : Agreste, Statistique agricole annuelle définitive 2018) (cf. Figure 2.2-6).

Les productions végétales se composent principalement de :

- 151 800 ha de céréales (44 % de la SAU) ;
- 54 300 ha d'oléagineux-protéagineux (15,8 % de la SAU) ;
- 90 300 ha de prairies permanentes (STH) (26 % de la SAU) ;
- 35 600 ha d'autres productions fourragères (10,3 % de la SAU).

Les surfaces viticoles couvrent 51 ha et l'arboriculture fruitière 551 ha

Les productions animales comptent :

- 215 000 bovins dont 44 000 vaches laitières (3 523 000 hl de lait), 37 000 vaches nourrices et 144 000 autres bovins ;
- 17 211 ovins déclarés (en 2017) ;
- 730 caprins déclarés (en 2017).

En 2017, le département de la Meuse dénombre 1 990 exploitations agricoles professionnelles (2 850 professionnelles et non professionnelles) avec 3 120 actifs non-salariés (2 923 chefs d'exploitation-coexploitants et 197 conjoints collaborateurs et aides familiaux) et 798 salariés (ETP) sur les exploitations. La superficie moyenne des exploitations agricoles est de 135 ha de SAU en 2017 et 60 % d'entre elles ont une SAU supérieure à 100 ha.

La spécialisation des exploitations agricoles est majoritairement de polyculture polyélevage (49,7 %), de grandes cultures (23,1 %), d'élevage bovins (19,6 %) et autres (7,6 %).

En 2018, le département comptait 186 exploitations en agriculture biologique pour une surface agricole certifiée ou en conversion de 10 982 ha soit 3,2 % de la SAU totale (Agence Bio - Agreste, statistique agricole annuelle définitive 2018).

Le compte de production en 2018 s'établit au total à 558 M€ dont 301 M€ pour les productions végétales, 214 M€ pour les productions animales, 35 M€ pour les productions de services auxquels sont ajoutés 8 M€ pour les subventions couplées à la production (soit 1 627 €/ha de SAU).

En 2015, 60 établissements agroalimentaires sont dénombrés sur le département dont 43 pour l'industrie alimentaire et 17 pour la fabrication de boisson total de1 688 salariés). Le commerce de gros regroupe 122 établissements dont 92 pour les produits agricoles bruts et d'animaux vivants et 30 pour les produits alimentaires et de boissons (hors tabac).

Au sein de la région Grand-Est, le département de Meuse représente 11 % de la SAU et 6,2 % de la production totale du compte de production 2018.

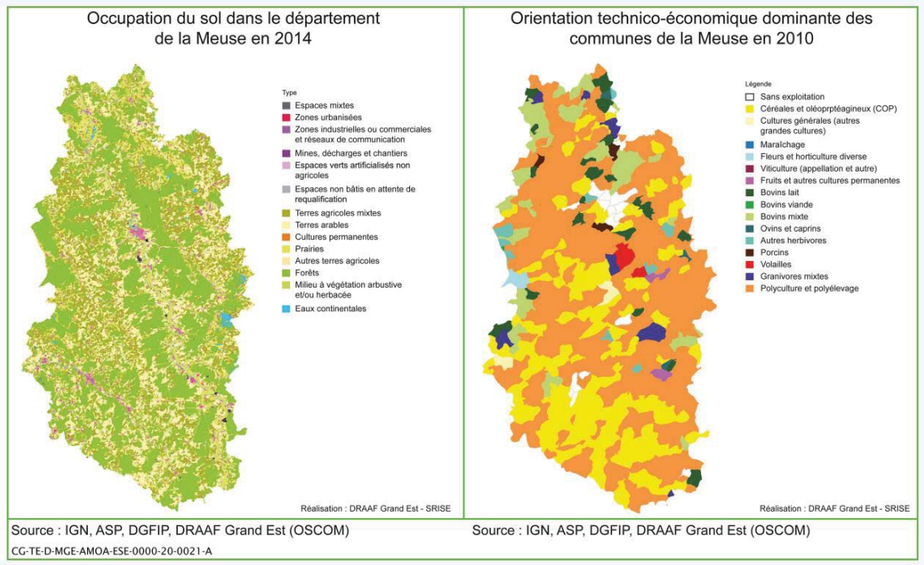


Figure 2.2-6 Carte de l'agriculture en Meuse

2.2.2.2 En Haute-Marne

En 2018, 49,6 % de la surface totale du département de la Haute-Marne est couvert par la Surface Agricole Utile (SAU) avec 310 000 ha, 40,3 % de surfaces boisées pour 252 000 ha, un peu moins de 5 % de surfaces artificialisées pour 31 000 ha et 5,1 % de landes et autres territoires non agricoles pour 32 000 ha (Sources : Agreste, Statistique agricole annuelle définitive 2018) (Figure 2.2-6).

Les productions végétales se composent principalement de :

- 123 700 ha de céréales (40 % de la SAU) ;
- 51 700 ha d'oléagineux-protéagineux (16,6 % de la SAU) ;
- 95 000 ha de prairies permanentes (STH) (30,6 % de la SAU) ;
- 27 200 ha d'autres productions fourragères (8,7 % de la SAU).

Les surfaces viticoles couvrent 100 ha. L'arboriculture fruitière est très peu présente.

Les productions animales comptent :

- 203 000 bovins dont 38 000 vaches laitières (2 634 000 hl de lait), 34 000 vaches nourrices et 131 000 autres bovins ;
- 36 377 ovins déclarés (en 2017) ;
- 217 caprins déclarés (en 2017).

En 2017, le département de la Haute-Marne dénombre 1 597 exploitations agricoles (2 245 professionnelles et non professionnelles) avec 2 596 actifs non-salariés (2 421 chefs d'exploitation-coexploitants et 175 conjoints collaborateurs et aides familiaux) et 661 salariés (ETP) sur les exploitations (Source : CCMSA – Effectifs au 1er janvier 2017). La superficie moyenne des exploitations agricoles est de 161 ha de SAU en 2017 et 60 % d'entre elles ont une SAU supérieure à 100 ha.

La spécialisation des exploitations agricoles est majoritairement de polyculture polyélevage (42,7 %), d'élevage bovins (24,2 %), de grandes cultures (22,2 %) et autres (10,9 %).

En 2018, le département comptait 138 exploitations en agriculture biologique pour une surface agricole certifiée ou en conversion de 16 328 ha soit 5,3 % de la SAU totale (Agence Bio - Agreste, statistique agricole annuelle définitive 2018).

Le compte de production en 2018 s'établit au total à 470 M€ dont 273 M€ pour les productions végétales, 163 M€ pour les productions animales, 27 M€ pour les productions de services auxquels sont ajoutés 8 M€ pour les subventions couplées à la production (soit 1 516 €/ha de SAU).

En 2015, 47 établissements agroalimentaires sont dénombrés sur le département dont 35 pour l'industrie alimentaire et 12 pour la fabrication de boissons (total de1 040 salariés). Le commerce de gros regroupe 114 établissements dont 88 pour les produits agricoles bruts et d'animaux vivants et 26 pour les produits alimentaires et de boissons (hors tabac).

L'emploi agricole et de l'industrie agroalimentaire représente 15 % de l'emploi total du département.

Au sein de la région Grand-Est, le département de la Haute-Marne représente 11 % de la SAU et 6,2 % de la production totale du compte de production 2018.

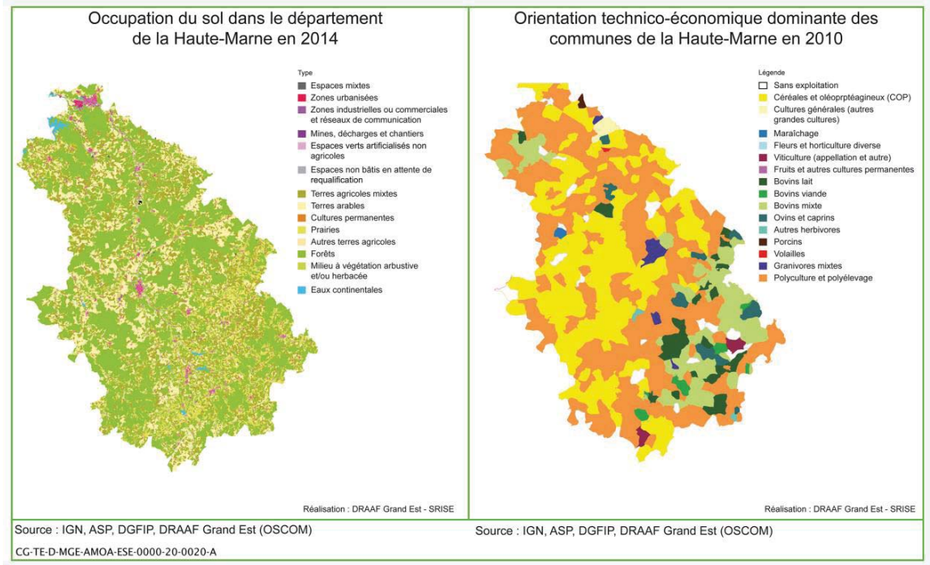


Figure 2.2-7 Cartes de l'agriculture en Haute-Marne

En synthèse, les deux départements ont une activité agricole très similaire mais dans des contextes pédoclimatiques sensiblement variables.

2.2.3 La région agricole du Barrois

Le centre de stockage Cigéo s'inscrit plus précisément au cœur de la région agricole du Barrois (plateau calcaire revêtu d'une faible épaisseur de terre) qui couvre les deux tiers du département de la Meuse et près de la moitié de la Haute-Marne (cf. Figure 2.2-8).

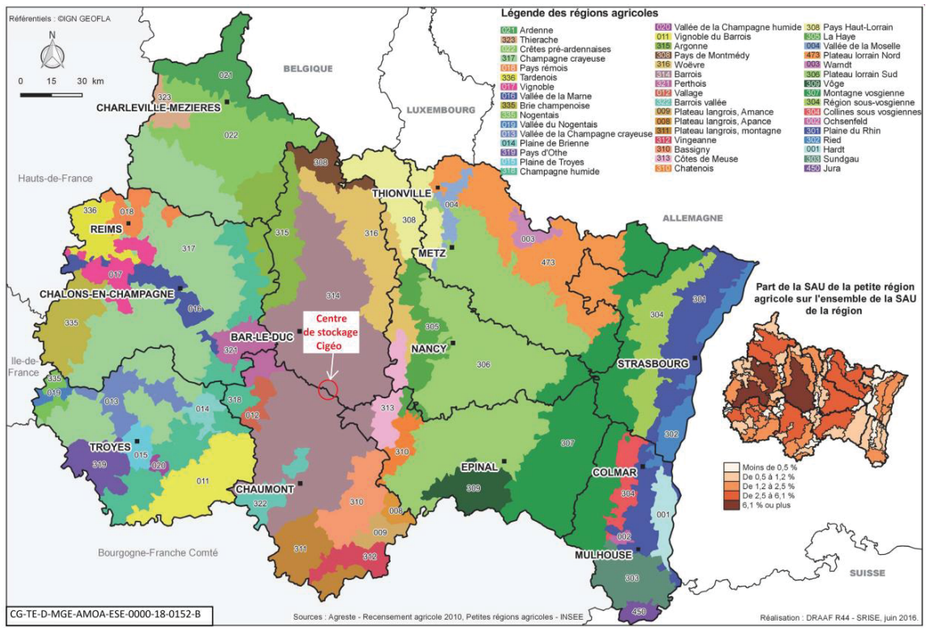


Figure 2.2-8 Localisation du centre de stockage Cigéo au cœur des régions agricoles

Cette région agricole du Barrois est composée d'un plateau calcaire ondulé, reposant sur plusieurs étages géologiques : Portlandien, Kimméridgien, Séquanien et Argovo-Rauracien, coupé à l'Ouest du fleuve par quelques vallées d'orientation générale sud-est/nord-est : Saulx, Orge, Ornain, Chée, Aisne et Aire, se dégageant vers le bassin de la Seine. Les sols de rendzines y sont dominants et se caractérisent par une pierrosité de surface plus ou moins abondante sur les plateaux. Ces sols sont réputés pour être séchants et pénalisent souvent les rendements des cultures en année de sécheresse.

Son climat est du type « tempéré océanique » pour lequel l'influence continentale est adoucie par la relative proximité des océans. L'hiver est assez long, humide, ponctué de nombreuses gelées mais faiblement neigeux. Le printemps est bref, assez sec et présente souvent des gelées tardives. L'été est moyennement ensoleillé avec des orages susceptibles de provoquer de fortes précipitations. La première gelée d'automne se produit entre le 10 et le 20 octobre. La température moyenne annuelle est d'environ 10 °C, et les précipitations annuelles varient entre 1 000 mm et 1 100 mm. Les vents sont majoritairement modérés avec une vitesse comprise entre 1 m/s et 4 m/s. Deux directions privilégiées apparaissent, la principale direction Sud-Sud-Ouest représente plus du quart des occurrences et la direction Est qui est un peu moins marquée.

Dans cette petite région rurale, les activités agricoles sont très importantes et occupent une large partie des sols en particulier sur les plateaux (cas du plateau de Bure). Les productions agricoles sont essentiellement céréalières (blé, orge) et oléagineuses (colza), ou destinées à l'alimentation animale (maïs d'ensilage) notamment dans les vallées (Vallée de l'Orge, Vallée de la Saulx, Vallée de l'Ornain). Les champs souvent très grands traduisent un remembrement poussé et une conduite culturale semi-intensive.

L'irrigation des cultures n'est pas pratiquée dans la région. Les vallées et quelques secteurs des plateaux moins favorables aux grandes cultures sont dominés par l'élevage : prairies de fauches et prairies pâturées y sont majoritaires. L'élevage bovin est largement prépondérant bien que l'on note la présence de quelques troupeaux d'ovins. Les troupeaux bovins sont constitués essentiellement de vaches laitières (pie noire/Holstein) et à viande avec des vaches allaitantes et quelques ateliers d'engraissement (pie rouge, charolais, limousine). On note aussi quelques élevages domestiques traditionnels (chèvres et

chevaux) ou plus atypiques (écrevisses). Les jardins potagers sont très présents aux abords des habitations, dans les villages ou autour des fermes. Les plantes sarclées sont surtout représentées par la pomme de terre.

2.3 Activités agricoles sur le territoire concerné (aire d'étude éloignée)

L'analyse de l'état initial de l'agriculture de ce territoire, regroupant les 4 anciens cantons (Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois et Poissons) a pour objectif de décrire le contexte agricole local et les filières qui en dépendent. Pour cette analyse, les principales composantes agricoles étudiées sont :

- occupation des sols ;
- exploitations agricoles et orientations technico-économiques ;
- productions végétales et animales ;
- productions sous SIQO et diversification ;
- emploi ;
- agrofournitures, collectes et industrie agro-alimentaire.

LES DONNEES STATISTIQUES AGRICOLES

Pour établir cette analyse agricole et disposer des mêmes sources de données à l'échelle départementale et cantonale de l'aire d'étude éloignée, les données statistiques agricoles sont extraites des fiches territoires produites par le SRISE (Service Régional de l'Information Statistique et Économique) et du RGA des années 1988, 2000 et 2010.

Par conséquent, les données agricoles départementales de cette analyse ne sont pas celles extraites du Memento Agreste Statistique agricole Grand-Est 2020 et du memento emploi de 2019 présentées au chapitre 2.2.2 du présent document, au risque de présenter quelques écarts selon les sources utilisées.

À titre d'exemple, les sources de données permettant le décompte du nombre d'exploitations agricoles sont diverses et ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Parmi celles-ci, le Recensement Agricole (RA), effectué dans le cadre de la réglementation statistique de l'UE, donne une photographie de l'agriculture et a l'avantage d'être exhaustif. Mais le dernier RA datant de 2010 est relativement ancien. Pour actualiser ces chiffres, le SRISE a exploité la base de données de la MSA qui ont en premier lieu une vocation administrative, pour la gestion des cotisations sociales agricoles des exploitants agricoles non-salariés et des cotisations des salariés agricoles. Elles permettent, en second lieu, un suivi de l'emploi du périmètre MSA et font l'objet de diverses publications annuelles sous la forme de Tableaux de bord de l'emploi (TBE) et d'études par la MSA. Le périmètre MSA exclut généralement les cotisants solidaires, ce qui signifie qu'il exclut les plus petits exploitants. Ce champ peut être rapproché de l'ensemble « moyennes et grandes exploitations » du RA. Dans le Mémento statistique agricole janvier 2020 édition 2019 diffusé à l'échelle régionale et départementale, les données publiées par la MSA dans le cadre des TBE ont été privilégiées.

Pour la réalisation des fiches territoires, le SRISE a constitué une base plus complète, permettant en particulier de réaliser des agrégations infra départementales. Cela a donc nécessité un retraitement des fichiers de base de la MSA (unité = cotisant), notamment pour les adapter à notre champ d'étude (la base MSA incluant en effet des activités sortant du champ étudié comme par exemple la sylviculture, l'exploitation forestière, les entreprises de travaux agricoles ou de paysage…). Ce retraitement, peut expliquer les légers écarts constatés entre les chiffres extraits des Tableaux de bord (traitement MSA) et les chiffres figurant sur les fiches territoires.

2.3.1 Occupation des sols agricoles

À proximité du centre de stockage Cigéo, la part des terres agricoles de la surface totale est plus importante sur les cantons de Montiers-sur-Saulx (58 %) et de Poissons (60 %). Sur l'ensemble des quatre cantons de l'aire d'étude éloignée elle atteint 55 % (cf. Figure 2.3-1). Cette part cantonale des surfaces agricoles est semblable à celle observée à l'échelle départementale avec 52 % en Haute Marne et 55 % en Meuse (cf. Tableau 2.3-1 et Figure 2.3-1).

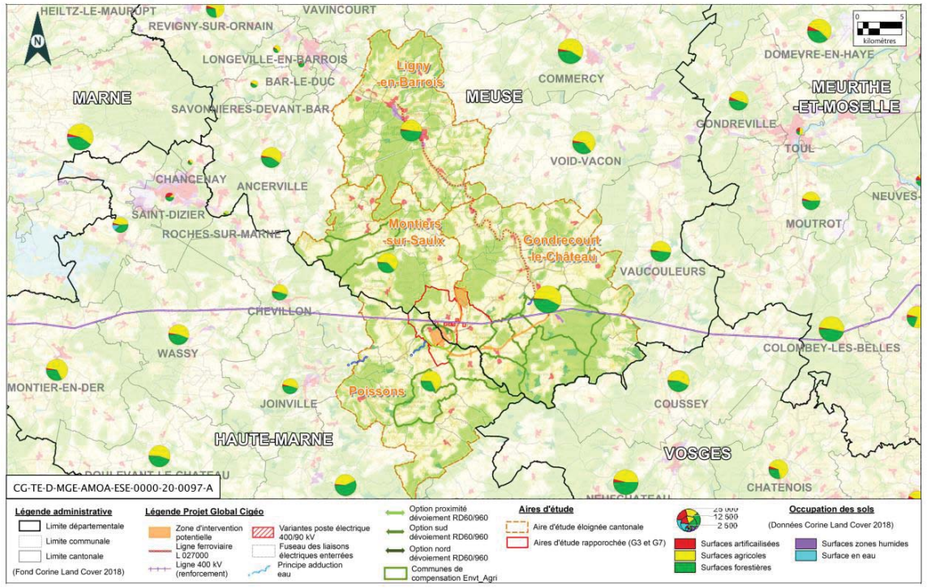


Figure 2.3-1 Carte de répartition cantonale de l'occupation des sols

Tableau 2.3-1 Proportion des surfaces agricoles en 2014 (AGRESTE)

Sources : IGN, ASP, DGFIP, DRAAF, Grand-Est, OSCOM 2014	Surface totale (ha)	SAU 1988 (ha)	SAU 2000 (ha)	SAU 2010 (ha)	SAU 2014 (ha)	SAU/ST (%)
Dép. : Haute-Marne	625 600	311 283	310 420	305 377	325 253	52
Dép. : Meuse	623 600	326 462	328 774	328 940	342 740	55
Ct : Gondrecourt-le-Château	34 055	15 840	16 630	17 337	17 513	51
Ct : Ligny-en-Barrois	22 417	8 550	8 367	9 439	9 452	42
Ct : Montiers-sur-Saulx	19 965	11 498	11 365	11 488	11 536	58
Ct : Poissons	21 185	13 548	12 897	12 463	14 029	66
Regroupement des 4 cantons	97 622	49 436	49 259	50 727	52 530	55

Sur ces sols agricoles, la part des terres labourables (TL) est supérieure à 75 % de la SAU sur les 4 cantons à proximité du centre de stockage Cigéo mais ne dépasse pas 70 % en moyenne départementale (cf. Tableau 2.3-2). Cette proportion des terres labourables a nettement progressé sur la période 1988 à 2010.

Tableau 2.3-2 Part des terres labourables de la SAU (AGRESTE)

Sources : IGN, ASP, DGFIP, DRAAF, Grand-Est-OSCOM 2014	SAU 2014 (ha)	TL 1988 (ha)	TL 2000 (%)	TL 2010 (ha)	TL 2014 (ha)	TL/SAU 2014 (%)
Dép. : Haute-Marne	325 253	175 031	199 805	206 715	206 753	64
Dép. : Meuse	342 740	196 318	222 852	230 878	23 5012	69
Ct : Gondrecourt-le-Château	17 513	11 418	13 368	14 281	13 991	80
Ct : Ligny-en-Barrois	9 452	2 068	6 365	7 407	7 203	76
Ct : Montiers-sur-Saulx	11 536	8 411	9 212	9 650	9 580	83
Ct : Poissons	14 029	9 059	9 616	9 710	10 981	78
Regroupement des 4 cantons	52 530	30 956	38 561	41 048	41 755	79

Par conséquent, les activités agricoles sont plus importantes et occupent une large part des surfaces aux alentours du centre de stockage Cigéo avec une majorité de surface consacrée aux grandes cultures (cf. Figure 2.3-2). Cette situation est moins prononcée sur le canton de Ligny-en-Barrois pour lequel les surfaces boisées et urbanisées sont plus importantes.

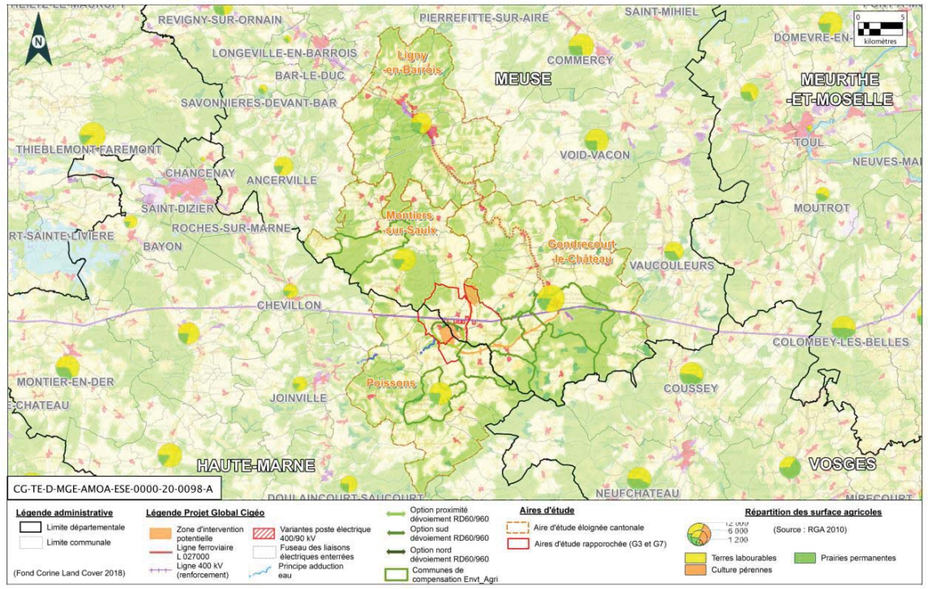


Figure 2.3-2 Part des terres labourables (TL) de la Surface Agricole Utile (SAU) à l'échelle cantonale

Cette augmentation de la part des terres labourables s'est faite au détriment des surfaces en herbe (prairie permanente) qui ne représentent plus que 30 % de la SAU dans les deux départements et moins de 15 % dans l'aire d'étude éloignée (cf. Figure 2.3-3).

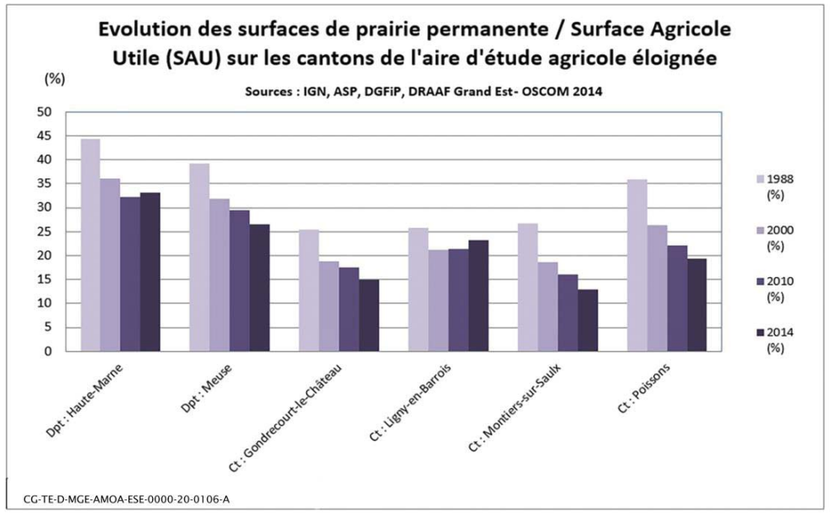


Figure 2.3-3 *Évolution de la part des prairies permanentes (PP) par rapport à la surface agricole utile (SAU)*

2.3.2 Exploitations agricoles

Depuis 1998, le nombre d'exploitations agricoles (tous statuts) ne cesse de diminuer sur l'ensemble des territoires et plus particulièrement en Haute-Marne et sur le canton de Poissons (– 40 % de 1988 à 2000 et -30 % de 2000 à 2010). Cette baisse s'est accompagnée d'un agrandissement des structures agricoles avec une SAU moyenne de 141 ha/exploitation sur les 4 cantons (111 ha/exploitation en Meuse et 136 ha/exploitation en Haute-Marne) soit une progression de 27 % en 10 ans (cf. Tableau 2.3-3). La baisse du nombre d'exploitations s'est poursuivie de 2010 à 2016 de -1 à – 15 % selon les secteurs géographiques (Données MSA 2016).

Cette augmentation importante des surfaces agricoles utiles par exploitation s'explique par :

- la faible valeur ajoutée à l'hectare des terres du Barrois. À titre d'exemple, la Meuse se situe à la 75e position au niveau national sur le critère de la valeur ajoutée par hectare de SAU ;
- un niveau de mécanisation croissant, ce qui explique que le nombre d'Unités de Travail Humain (UTH) par exploitation est faible par rapport à leur taille : 1,6 UTH pour 100 ha de SAU, alors que la moyenne française est de 3,4.

Tableau 2.3-3 *Évolution du nombre d'exploitations (tous statuts) et de la Surface Agricole Utile par exploitation de 2000 à 2010 – Agreste*

AGRESTE 2010	Nb. exploitation 1998	Nb. exploitation 2000	Nb. exploitation 2010	Evol. Nb. 2010/2000 (%)	SAU/exploitation 2000 (ha)	SAU/exploitation 2010 (ha)	Évol. SAU/Expl. 2010/2000 (%)
Dép. : Haute-Marne	5 445	3 219	2 245	-30	96	136	41
Dép. : Meuse	5 785	3 535	2 975	-16	93	111	19
Ct : Gondrecourt-le-Château	219	138	119	-14	121	146	21
Ct : Ligny-en-Barrois	169	92	77	-16	91	123	35
Ct : Montiers-sur-Saulx	177	109	86	-21	104	134	28
Ct : Poissons	188	107	77	-28	124	162	31
Regroupement des 4 cantons	**753**	**446**	**359**	**-20**	**111**	**141**	**27**

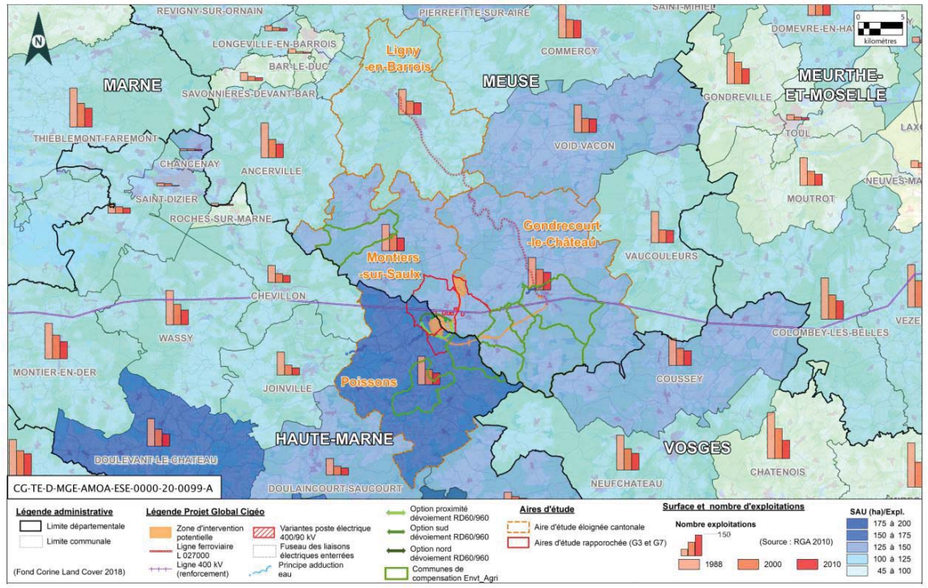


Figure 2.3-4 *Carte cantonale du nombre d'exploitations et de la Surface Agricole Utile (SAU) par exploitation*

Cette augmentation de la taille des exploitations a été favorisée par le développement des formes sociétaires de type GAEC (Groupement agricole d'exploitation en commun) ou EARL (Exploitation agricoles à responsabilité limitée). Pour faire face à la conjoncture économique, les membres de GAEC ont fait le choix de se regrouper plutôt que d'agrandir des structures individuelles. Le nombre d'exploitations individuelles représente moins de 55 % des exploitations professionnelles en 2010 alors qu'elles représentaient plus de 69 % en 2000 et 84 % en 1988 sur les quatre cantons autour du centre de stockage Cigéo (cf. Tableau 2.3-4).

Tableau 2.3-4 Statut des exploitations agricoles professionnelles du territoire concerné

AGRESTE 2010 (Aire d'étude éloignée)	Nb exploitations 2010	Groupement agricole d'exploitation en commun (GAEC) (%)	Exploitation agricole à responsabilité limitée (EARL) (%)	Exploitant individuel ou autre personne physique (%)	Autres (%)
Dép. : Haute-Marne	2 245	19	20	55	6
Dép. : Meuse	2 975	19	25	47	9
Ct : Gondrecourt-le-Château	119	14	14	54	18
Ct : Ligny-en-Barrois	77	10	12	60	18
Ct : Montiers-sur-Saulx	86	10	26	55	9
Ct : Poissons	77	21	21	47	12
Regroupement des 4 cantons	**359**	**14**	**18**	**54**	**14**

Les remembrements au niveau des communes de l'aire d'étude rapprochée (G7) sont relativement anciens mis à part à Gillaumé (1998) où la taille des exploitations peut atteindre plus de 200 ha. Par ailleurs, la transposition de directives européennes entraîne l'obligation pour les agriculteurs de se doter d'installations de plus en plus modernes (mises aux normes des bâtiments d'élevage, du stockage des engrais azotés, du stockage et des conditions d'utilisation des produits phytosanitaires).

Sur les 4 cantons de l'aire d'étude éloignée, la taille moyenne des exploitations en 2010 est de 141 ha variant en moyenne de 66 ha pour les structures individuelles à 258 ha pour les GAEC. Les unités de travail annuel (UTA) varient de respectivement de 1 à 2,5 et la production brute standard de 61 606 €pour les exploitation individuelles à plus de 252 294 € pour les structures de type GAEC à 2 (cf. Tableau 2.3-5).

Tableau 2.3-5 Dimensionnement des exploitations du territoire concerné

AGRESTE 2010 (Aire d'étude éloignée)	Toutes exploitations	Exploitant individuel ou autre personne physique	Groupement agricole d'exploitation en commun (GAEC)	Exploitation agricole à responsabilité limitée (EARL)	Autres
SAU/Exploitation	141	66	258	218	185
Nb UTA/Exploitation	1,2	0,8	2,5	1,9	1,7

AGRESTE 2010 (Aire d'étude éloignée)	Toutes exploitations	Exploitant individuel ou autre personne physique	Groupement agricole d'exploitation en commun (GAEC)	Exploitation agricole à responsabilité limitée (EARL)	Autres
Production brute standard (PBS)/Exploitation	117 003 €	61 606 €	252 294 €	205 813 €	175 500 €

Globalement la structuration moyenne des exploitations n'est pas très différente d'un département à l'autre (Meuse et Haute-Marne) et de l'aire d'étude éloignée (cf. Tableau 2.3-6). Un peu plus de deux personnes travaillent par exploitation dont 1,4 avec le statut de chef exploitant.

Tableau 2.3-6 Répartition des actifs par exploitation agricole

AGRESTE 2010	Nb exploitations	Nb personne/ Exploitation	Chefs expl. + Co exploitants/Exploitation	Conjoints non Co exploitants actifs sur l'exploitation/Exploitation	Autres actifs familiaux/Exploitation	Salariés permanents non familiaux/ Exploitation
Dép. : Haute-Marne	2 245	2,1	1,4	0,3	0,2	0,2
Dép. : Meuse	2 975	2,1	1,4	0,3	0,2	0,2
Ct : Gondrecourt-le-Château	119	2,1	1,4	0,2	0,2	0,2
Ct: Ligny en Barrois	77	2,0	1,4	0,2	0,2	0,2
Ct : Montiers-sur-Saulx	86	2,0	1,4	0,3	0,2	0,2
Ct : Poissons	77	1,9	1,5	0,2	0,0	0,2
Regroupement des 4 cantons	**359**	**2,0**	**1,4**	**0,2**	**0,1**	**0,2**

Au dernier recensement agricole, 36 % des chefs d'exploitation ou du premier coexploitant de l'aire d'étude éloignée des 4 cantons sont âgés de 50 ans dont 14 % de plus de 59 ans (cf. Tableau 2.3-7). Ces moyennes cachent des disparités significatives entre cantons en particulier celui de Gondrecourt-le-Château avec une moindre proportion d'exploitant de 50 ans à 59 ans. Cette situation laisse présagée un renouvellement plus important des exploitants sur ce canton dans les prochaines années.

Tableau 2.3-7 Âge du chef d'exploitation ou du premier coexploitant

AGRESTE 2010	Chefs expl. + coexploitants	Chef d'exploitation 50 à 59 ans (%)	Chef d'exploitation > 59 ans (%)
Dép. : Haute-Marne	3 243	25	11
Dép. : Meuse	4 172	24	14
Ct : Gondrecourt-le-Château	171	19	16
Ct : Ligny-en-Barrois	108	25	16
Ct : Montiers-sur-Saulx	119	25	14
Ct : Poissons	119	22	10
Regroupement des 4 cantons	**517**	**22**	**14**

2.3.3 Orientations technico-économiques des exploitations agricoles

Les activités de grandes cultures et de polyculture-poly-élevage sont localement prédominantes tout comme au niveau national et ce, tant en nombre d'exploitation qu'en superficie agricole utilisée.

Les exploitations spécialisées en grandes cultures (céréales et oléo-protéagineux) sont majoritaires à plus de 53 % sur le territoire concerné et seulement 32 % sur les départements de Meuse et de Haute-Marne suivies par les systèmes de polycultures élevages à 28 % (cf. Tableau 2.3-8). L'ancien canton de Montiers-sur-Saulx est le plus céréalier avec plus de 64 % de système de grandes cultures.

Tableau 2.3-8 Orientations technicoéconomiques des exploitations (AGRESTE 2010)

AGRESTE 2010	Nb exploitation	Grandes Cultures (%)	Polyculture élevage (%)	Bovins Lait (%)	Bovins Viande (%)	Bovins Mixte (%)	Ovins, Caprins et autres herbivores (%)	Autres
Dép. : Haute-Marne	2 245	31,9	27,8	10,4	5,5	5,6	12,9	6,0
Dép. : Meuse	2 975	31,2	26,4	10,9	6,7	4,8	11,4	8,8
Ct : Gondrecourt-le-Château	119	48,7	30,3	0,8	4,2	2,5	8,4	5,0
Ct : Ligny-en-Barrois	77	59,7	15,6	3,9	s	s	9,1	0,0
Ct : Montiers-sur-Saulx	86	64,0	18,6	4,7	1,2	1,2	4,7	5,8
Ct : Poissons	77	42,9	35,1	1,3	1,3	1,3	6,5	11,7
Regroupement des 4 cantons	**359**	**53,5**	**25,3**	**2,5**	**1,9**	**1,4**	**7,2**	**5,6**

Ce phénomène s'est accentué au cours des 30 dernières années avec la mise en place des quotas laitiers et suite aux différentes crises sanitaires en élevage (cf. Figure 2.3-5). Depuis la suppression des quotas laitiers en 2015, la situation semble se stabiliser.

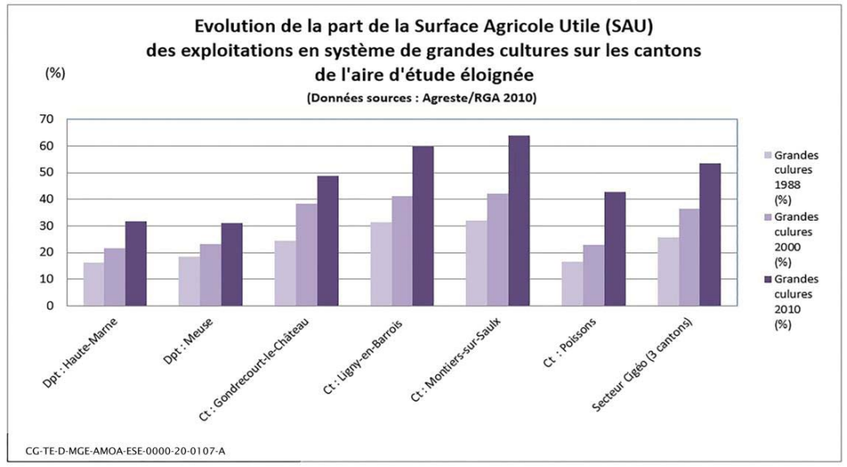


Figure 2.3-5 Évolution de la part des exploitations en système de grandes cultures

Le système de grandes cultures couvre à lui seul 65 % de la Surface Agricole Utile en 2010 sur les 4 anciens cantons et représente plus de 56 % du produit brut standard (Tableau 2.3-9).

Tableau 2.3-9 Système de grandes cultures (AGRESTE 2010)

AGRESTE 2010 (Groupement des 4 cantons)	Ensemble			Grandes cultures (Otex 15, 16)		
	1988	2000	2010	1988	2000	2010
Exploitations	753	443	359	195	161	192
Production brute standard (millier d'euros)	53 589	49 612	49 652	16 504	20 373	27 761
Superficie agricole utilisée (ha)	49 436	49 259	50 727	19 017	24 132	32 992
Unités de travail annuel (UTA)	962	626	513	261	220	262

2.3.4 Les productions de grandes cultures

Sur la période 2011-2015, les terres labourables qui occupaient plus de 81 % de la SAU étaient principalement exploitées pour plus de 65 % en céréales (blé, orge et escourgeon), 21 % de colza et 4 % de maïs fourrage (cf. Figure 2.3-6).

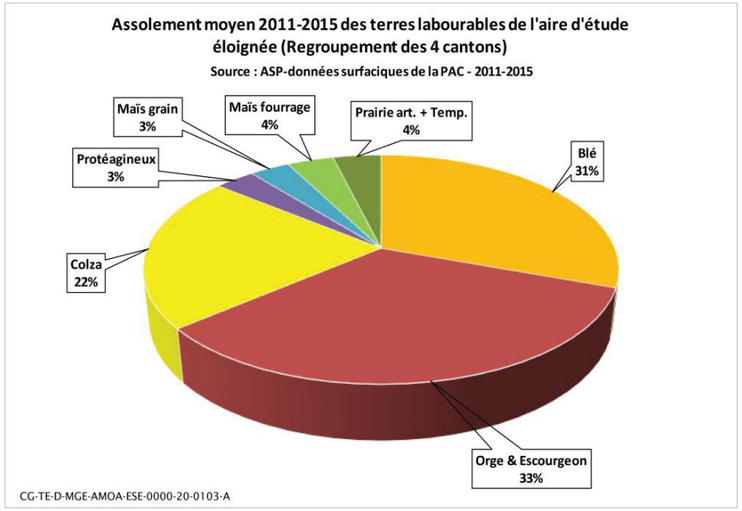


Figure 2.3-6 *Assolement moyen 2011-2015 des terres labourables de l'aire d'étude éloignée des 4 cantons*

Cet assolement est sensiblement semblable à celui pratiqué à l'échelle des départements de Meuse et de Haute-Marne (cf. Tableau 2.3-10).

Tableau 2.3-10 *Assolement moyen des terres labourables (2011-2015)*

Source : ASP-données surfaciques de la PAC - 2011-2015	TL (ha)	Blé (%)	Orge & Escourgeon (%)	Colza (%)	Protéagineux (%)	Maïs grain (%)	Maïs fourrage (%)	Prairie Art + Temp (%)	Autres
Dép. : Haute-Marne	202 104	31	28	21	2	5	7	6	0
Dép. : Meuse	229 302	32	29	20	1	7	7	4	0
Ct : Gondrecourt-le-Château	13 331	30	38	20	3	2	3	4	0
Ct : Ligny-en-Barrois	9 650	22	10	18	2	3	1	3	0
Ct : Montiers-sur-Saulx	9 316	27	34	23	3	6	3	3	0
Ct : Poissons	10 818	31	35	18	4	2	6	4	0
Regroupement des 4 cantons	**43 115**	**28**	**30**	**20**	**3**	**3**	**3**	**4**	**0**

Depuis 2000, l'assolement des principales cultures a peu évolué en Meuse et en Haute-Marne, à l'exception de certaines années climatiques difficiles en particulier l'hiver 2012. En effet en 2012 de gros dégâts de gel sur les cultures d'hiver ont induit un remplacement de ces cultures par des cultures de printemps dont de l'orge impliquant ainsi une doublement de sa surface cultivée (cf. Figure 2.3-7).

Cette distribution de l'assolement est amenée à évoluer rapidement d'une campagne à l'autre en fonction des nouvelles orientations environnementales réglementaires et de l'évolution du prix des récoltes qui devient très volatil depuis le début des années 2000.

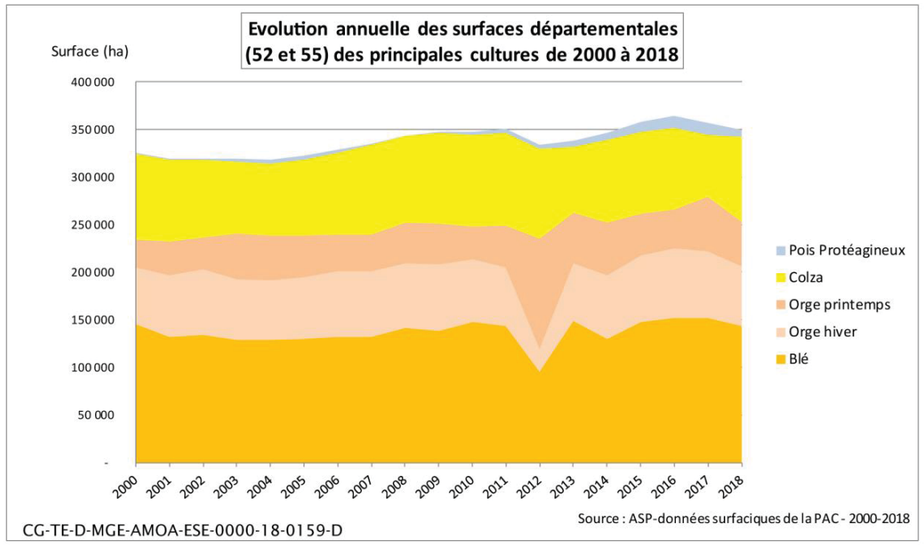


Figure 2.3-7 *Évolution annuelle des surfaces départementales (52 et 55) des principales cultures de 2000 à 2018*

De 2000 à 2018 les rendements des principales cultures n'ont pas progressé (cf. Figure 2.3-8). Sur les 9 dernières campagnes (2010-2018) la moyenne des rendements est inférieure à celles des dix années précédentes (cf. Tableau 2.3-11). Cette situation moins forte à l'échelle nationale, s'explique localement par des années climatiques très difficiles tantôt par des dégâts de gel ou par des années de sécheresse. De fait, le volume de production ne progresse plus. Ce constat est le même sur tout le territoire concerné.

Tableau 2.3-11 *Variation moyenne des rendements à l'échelle nationale et départementale*

Rendements	Moyenne	Blé	Orge hiver	Orge printemps	Colza	Pois protéagineux
France	2000-2009	69,5	65,0	58,8	32,1	44,1
	2010-2018	69,6	64,8	59,6	33,7	37,2
Dép. 52-55	2000-2009	67,8	64,8	50,6	31,6	38,0
	2010-2018	65,1	62,3	52,3	30,8	33,8

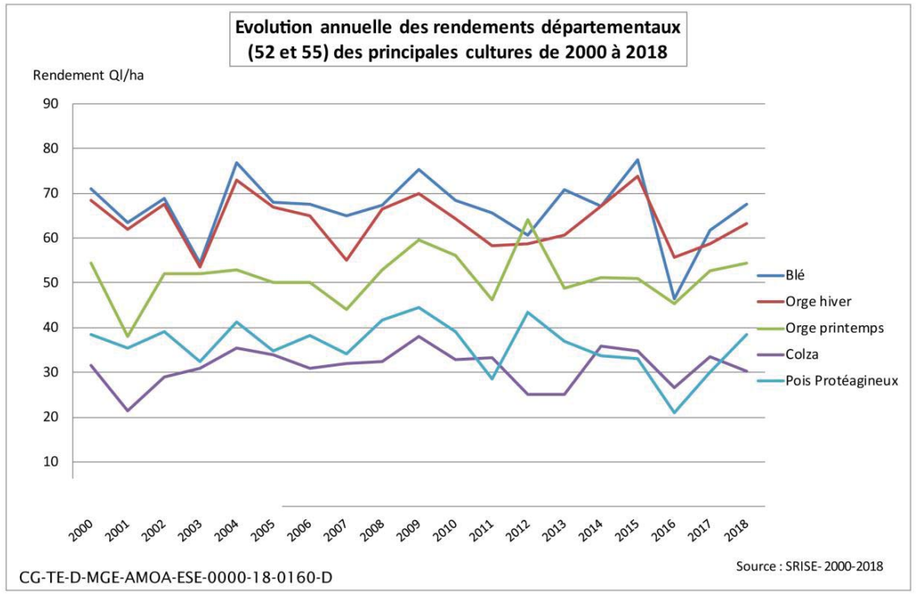


Figure 2.3-8 Évolution annuelle des rendements départementaux de 2000 à 2018

2.3.5 Élevage et production laitière

L'élevage dans les départements de Haute-Marne et de Meuse ainsi que sur l'aire d'étude éloignée est essentiellement de type bovin. Entre 2000 et 2010, le nombre total de bovins a sensiblement diminué de 6 % en moyenne départementale et plus de 15 % à l'échelle des 4 cantons.

En 2010, 49 % des exploitations de l'aire d'étude éloignée ont un élevage bovin pour 23 % de troupeau laitier avec 61 vaches laitières en moyenne et 26 % de troupeau allaitant avec 31 vaches (cf. Tableau 2.3-12). La proportion des exploitations avec un élevage de bovins de l'aire d'étude éloignée est légèrement inférieure aux moyennes départementales (30 % d'exploitations avec un troupeau laitier de cinquante-six vaches et 32 % des exploitations avec un troupeau allaitant de quarante vaches).

Tableau 2.3-12 Taille des troupeaux en élevage bovins

AGRESTE 2010	Nb. Exploitations	Nb. Exploitations avec bovins	Nb. Exploitation avec Vaches laitières	Nb. Exploitations avec Vaches allaitantes	Nb. Bovins /Exploitation	Nb. Vaches laitières/Exploitation	Nb. Vaches allaitantes/ Exploitation
Dép. : Haute-Marne	2 245	1 265	723	757	163	58	42
Dép. : Meuse	2 975	1 667	875	960	142	54	39
Ct : Gondrecourt-le-Château	119	52	28	29	125	43	47

AGRESTE 2010	Nb. Exploitations	Nb. Exploitations avec bovins	Nb. Exploitation avec Vaches laitières	Nb. Exploitations avec Vaches allaitantes	Nb. Bovins /Exploitation	Nb. Vaches laitières/Exploitation	Nb. Vaches allaitantes/ Exploitation
Ct : Ligny-en-Barrois	77	27	s	21	133	s	21
Ct : Montiers-sur-Saulx	86	44	17	25	102	38	39
Ct : Poissons	77	55	38	20	116	48	30
Regroupement de 4 cantons	**359**	**178**	**83**	**95**	**58**	**61**	**31**

Sur la période 2000 à 2016, c'est en particulier celui des vaches laitières qui a été le plus affecté avec une baisse de 6 % à 30 % selon les cantons. Cette diminution du troupeau laitier a été observée tout au long de la période des quotas laitiers de 1984 à 2015.

Parmi les éleveurs laitiers, une partie du troupeau a été convertie en troupeau allaitant pour une nouvelle production de viande.

Tableau 2.3-13 Évolution du cheptel bovin de 2000 à 2016

Source : BDNI 2000-2016	Vaches Laitières				Vaches allaitantes				Bovins d'un an ou plus			
	2000 (Nb)	2010 (Nb)	2016 (Nb)	Évol. % 2016 /2000	2000 (Nb)	2010 (Nb)	2016 (Nb)	Évol. % 2016 /2000	2000 (Nb)	2010 (Nb)	2016 (Nb)	Évol. % 2016 /2000
Dép. : Haute-Marne	49 651	42 278	39 947	-20	31 248	31 442	34 033	9	84 483	77 970	79 416	-6
Dép. : Meuse	53 904	47 397	46 596	-14	37 255	37 397	37 101	0	93 660	85 865	79 304	-15
Ct : Gondrecourt-le-Château	1 521	1 295	1 359	-11	1 569	1 973	1 307	-17	2 227	2 112	2 167	-3
Ct : Ligny-en-Barrois	372	0	344	-8	1 398	1 498	710	-49	1 324	1 140	1 121	-15
Ct : Montiers-sur-Saulx	1 019	676	624	-39	1 253	1 149	771	-38	1 659	1 631	1 427	-14
Ct : Poissons	2 690	2 767	1 762	-34	830	843	597	-28	3 259	2 433	2 302	-29
Regroupement des 4 cantons	5 602	4 738	4 089	-27	5 050	5 463	3 385	-33	8 469	7 316	7 017	-17

La production laitière qui avait fortement diminué de 1984 à 2000 s'est stabilisée au cours des 15 dernières années avec une progression significative en Meuse (cf. Tableau 2.3-14). Cette diminution est moins importante que celle du cheptel car il y a eu une spécialisation des troupeaux avec une amélioration des performances de production. Cette diminution de la production s'est stabilisée depuis 2015 avec une reprise significative sur le département de la Meuse.

Tableau 2.3-14 Production laitière départementale (2010-2016-2018)

SAA	Production finale (hl)				
	2010 (hl)	2016 (hl)	2018 (hl)	Moyenne (2011-2015)	Évol. % 2016/2010
Dép. : Haute-Marne	2 675 888	2 591 754	2 630 700	2 646 459	-3
Dép. : Meuse	3 242 645	3 542 479	3 520 700	3 434 440	9

Face à cette crise de l'élevage bovin, des efforts ont été réalisés en Meuse pour développer de nouvelles filières d'élevage dont la production de porc. Ainsi le cheptel a progressé de 30 % de 2000 à 2010 alors que sur la même période il a diminué de 36 % en Haute-Marne (cf. Tableau 2.3-15). Les élevages de caprins, ovins et de lapins ont bien souvent diminué sur cette période. L'élevage de volaille a progressé dans les deux départements +8 % en Haute-Marne et +37 % en Meuse. Pour les équidés, les effectifs sont très limités et ne représentent pas une grande activité économique pour l'élevage.

Tableau 2.3-15 Évolutions des autres cheptels (2000-2010)

AGRESTE 2010	Brebis nourrices			Porcins			Poulets de chair et coq		
	2000 (Nb)	2010 (Nb)	Évol. % 2010/2000	2000 (Nb)	2010 (Nb)	Évol. % 2010/2000	2000 (Nb)	2010 (Nb)	Évol. % 2010/2000
Dép. : Haute-Marne	46 922	39 477	-16	19 088	12 176	-36	126 107	135 966	8
Dép. : Meuse	30 113	26 294	-13	35 190	45 638	30	217 858	298 519	37
Ct : Gondrecourt-le-Château	3 416	2 031	-41	7 868	3 863	-51	76 468	97 370	27
Ct : Ligny-en-Barrois	2 522	1 456	-42	0	0		84	42	-50
Ct : Montiers-sur-Saulx	2 424	1 883	-22	0	79		56	112	100
Ct : Poissons	1 934	365	-81	590	0	-100	1 880	0	-100
Regroupement des 4 cantons	10 296	5 735	-44	8 458	3 942	-53	78 488	97 524	24

2.3.6 Productions agricoles sous signes officiels de la qualité et de l'origine (SIQO)

Les appellations d'origine et les indications géographiques par leur spécificité et leur ancrage territorial ainsi que la qualité supérieure pour les produits Label Rouge peuvent représenter une source de valeur ajoutée, une opportunité et un potentiel de développement pour les agriculteurs et les transformateurs qui dépendent toutefois de la qualité des productions et de la perception (image) du territoire par les consommateurs.

2.3.6.1 Recensement des productions sous SIQO à proximité du centre de stockage Cigéo

Dans un périmètre de 20 km autour du centre de stockage Cigéo 3 AOC/AOP et 4 IGP sont recensés auxquels s'ajoutent 4 AOC/AOP et 4 IGP supplémentaires dans un rayon de 50 km.

Tableau 2.3-16 Productions sous SIQO à proximité du centre de stockage Cigéo

Périmètre de 20 km	Périmètre de 50 km (Appellations supplémentaires)
L'AOC-AOP Brie de Meaux ; L'AOC-AOP Langres ; L'AOC-IGP Mirabelle de Lorraine ; L'IGP Volailles de la Champagne ; L'IGP Haute-Marne mousseux ; L'IGP Emmental français Est-Central ; L'IGP Bergamotes de Nancy	L'AOC-AOP Champagne ; L'AOC-AOP Miel de sapin des Vosges ; L'AOC-AOP Côtes de Toul ; L'AOC-AOP Munster ou Munster Géromé ; L'IGP Côtes de Meuse ; L'IGP Volailles de Bourgogne ; L'IGP Volailles du Plateau de Langres ; l'IGP Gruyère

2.3.6.2 Productions agricoles sous SIQO sur les emprises du projet global Cigéo

Parmi les productions agricoles sous SIQO, trois groupes sont identifiés de par leur zone d'appellation en partie dans la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo ou à proximité :

- groupe SIQO des Fromages ;
- groupe SIQO des vins, spiritueux et fruits ;
- groupe SIQO des volailles.

a) Groupe des Productions fromagères sous SIQO

Sur le territoire concerné, deux appellations fromagères sont recensées : l'IGP Emmental Français Est-Centrale qui couvre le département de la Haute-Marne dont le canton de Poissons et l'AOC Brie de Meaux qui couvre les cantons de Montiers-sur-Saulx, de Ligny-en-Barrois et la quasi-totalité de celui de Poissons. Seule la partie ouest du canton de Gondrecourt-le-Château est dans le périmètre de cette appellation (cf. Figure 2.3-9). Une appellation supplémentaire est recensée sur l'aire d'étude de la ligne électrique 400 kV : l'AOC Munster.

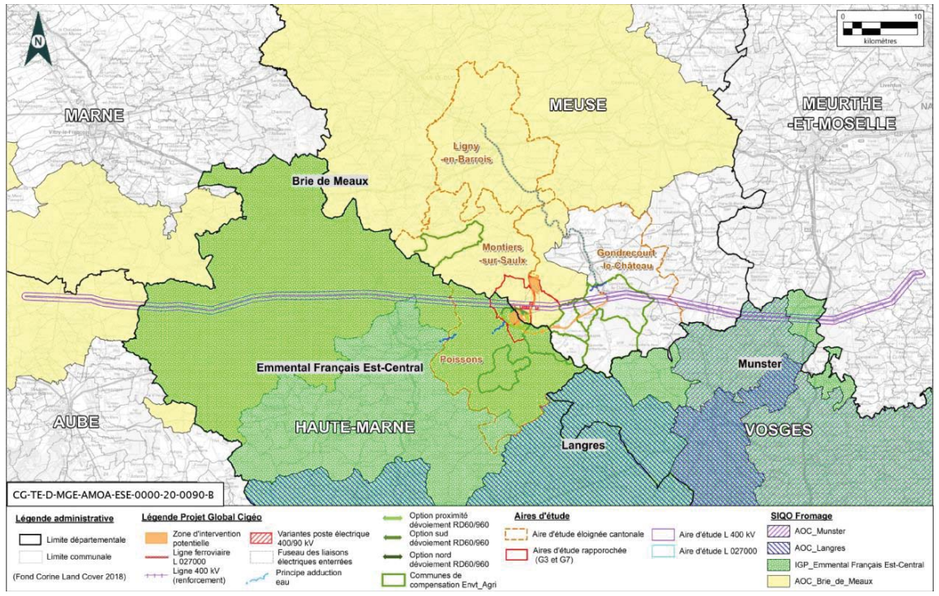


Figure 2.3-9 Productions fromagères sous SIQO sur les aires d'étude agricole du projet global Cigéo

- **AOC-AOP Brie de Meaux**

  Le Brie de Meaux est un fromage au lait cru à pâte molle légèrement salée à moisissure superficielle à égouttage spontané. La croûte est fine, blanche avec stries ou taches rouges.

  L'aire géographique couvre une surface importante de 1,65 millions d'hectare s'étendant d'est en ouest sur 260 km de la Meuse aux Hauts de Seine (cf. Figure 2.3-10) pour une production moyenne annuelle 6 276 $t.an^{-1}$ (2013-2017) (cf. Figure 2.3-11).

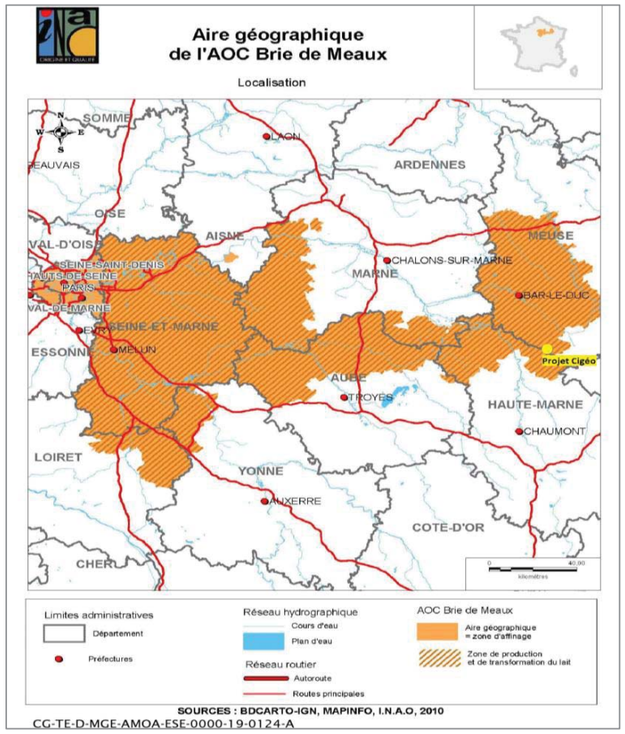


Figure 2.3-10 Aire géographique de l'AOC Brie de Meaux (France)

L'AOC-AOP Brie de Meaux regroupe environ 601 opérateurs dont : 591 producteurs de lait, 7 fabricants affineurs et 4 affineurs.

Le marché de brie de Meaux se stabilise à un peu plus de 6 500 tonnes par an depuis 2010 après avoir connu une baisse significative au début des années 2000 (cf. Figure 2.3-11).

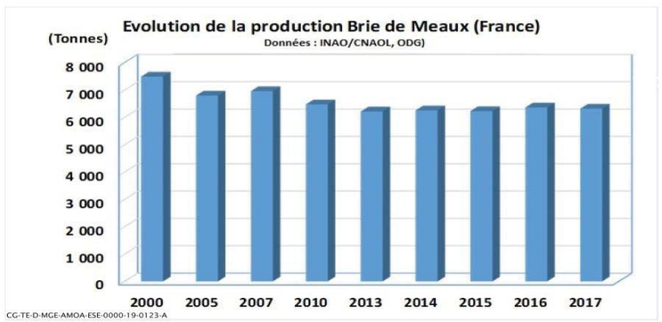


Figure 2.3-11 Évolution de la production Brie de Meaux (France)

Le marché du Brie de Meaux se répartit à plus de 39 % pour Renard Gillard et 24 % pour Lactalis (cf. Figure 2.3-12).

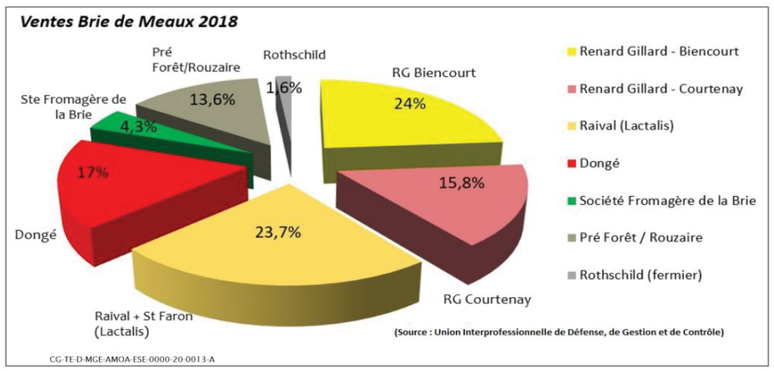


Figure 2.3-12 Répartition des ventes de Brie de Meaux en 2018 (6 638 tonnes)

La production de Brie de Meaux est réalisée à 70 % dans le département de la Meuse. Trois industriels du Brie de Meaux sont recensés dans le département de la Meuse à proximité du centre de stockage Cigéo avec du plus près au plus loin :

- ✓ Fromagerie Renard-Gillard (Groupe SODIAAL[25]) 55290 BIENCOURT-SUR-ORGE (7 km de Bure) ;
- ✓ Fromagerie Dongé 55500 LIGNY-EN-BARROIS (22 km de Bure) ;
- ✓ Société Fromagerie de Raival (Groupe LACTALIS[26]) 55260 RAIVAL (48 km de Bure).

Suite à la demande de modifications du cahier des charges approuvées par le comité national des appellations laitières, agroalimentaires et forestières en sa séance du 16 juin 2016 (NOR : AGRT1623597Z), la production de ce fromage au lait cru de vache, à pâte molle, avec une croûte fleurie impose des conditions particulières d'élevage du troupeau laitier (logement, alimentation renouvellement, autonomie fourragère).

De par la proximité de ces trois industriels et de quelques producteurs laitiers sur les communes de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo dans le périmètre AOC-AOP (Saudron, Gillaumé, Cirfontaines-en-Ornois, Bure, Bonnet, Mandres-en-Barrois et Ribeaucourt), cette appellation représente un enjeux agricole fort au regard de ce projet.

- **IGP Emmental français Est-Central (Emmental Grand Cru Label Rouge)**

L'aire géographique IGP Emmental Français Est-Central couvre une surface très importante de 7,35 millions d'hectares. La production d'Emmental français Est-Central est stabilisée à un peu moins de 4 000 t.an-1.

L'emmental français Est-Central est un fromage au lait de vache cru à pâte pressée cuite, sous forme de meule, d'une teneur de 45 % de matière grasse minimale (par rapport à la matière sèche) et de 62 % d'extrait sec minimum.

Le lien avec l'origine géographique est basé sur des caractéristiques de l'Emmental dues à la production dans ces zones géographiques (cf. Figure 2.3-13).

[25] SODIAAL : la Société de diffusion internationale agro-alimentaire est un holding regroupant des entreprises spécialisées dans la transformation de produits laitiers. Ses principales marques sont : Yoplait, Candia et Entremont. En 2017, elle est la 16e plus grande entreprise de ce secteur au niveau mondial, en termes de chiffre d'affaires, et la 3e française, derrière Danone et Lactalis

[26] LACTALIS : Lactalis est une multinationale française de l'industrie agroalimentaire, présent principalement dans le secteur des produits laitiers. Il s'agit du premier groupe transformateur fromager mondial, et en 2018 du deuxième groupe agroalimentaire français et 16e groupe agroalimentaire mondial, toutes catégories confondues

Les fabricants d'Emmental Grand Cru sont :

- Monts et Terroirs à Poligny (39) ;
- fromagerie Milleret à Charcenne (70) ;
- fromagerie du Vercelois à Vercel (25) ;
- fromagerie de Lavigney (70) - Biodéal.

Comme pour la production de Brie de Meaux un cahier des charges fixe pour les producteurs laitiers les conditions d'élevage (durée de pâturage, ration alimentaire, chargement, condition de traite).

L'aire géographique de cet IGP couvre toutes les communes de Haute-Marne toutefois, aucun producteur laitier de cet IGP n'est recensé sur l'aire d'étude éloignée.

Le projet de centre de stockage est localisé en périphérie du périmètre de l'IGP.

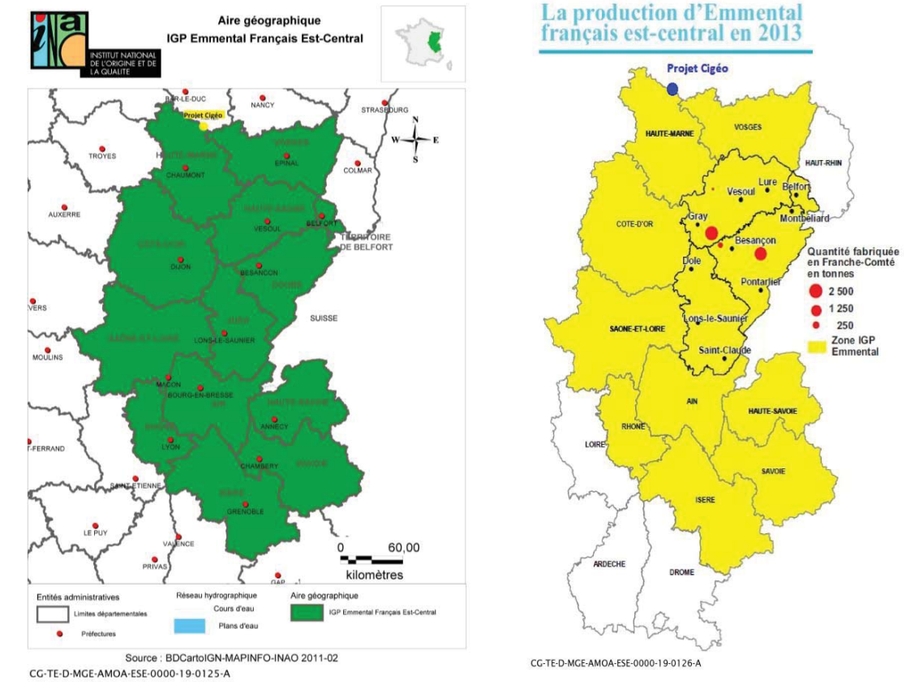


Figure 2.3-13 Aire géographique de L'IGP Emmental français Est-Central (Fromages)

- **AOC Munster**

  Le Munster est un fromage au lait de vache à pâte molle et à croûte lavée à 45 % minimum de matière grasse, de couleur jaune à orangé rouge. De forme cylindrique de 13 cm à 19 cm de diamètre et de 2,4 cm à 8 cm de hauteur, son poids varie de 450 g minimum (il n'existe pas de maxima et dans les faits, le fromage peut aller jusqu'à 2,1 kg). La durée d'affinage est de 21 jours au minimum pour le Munster ou Munster Géromé. Elle est de 14 jours pour la forme « petit Munster », de taille et poids plus réduits. La production du lait de vache, la fabrication et l'affinage des fromages doivent être effectués dans l'aire géographique délimitée. Cette appellation couvre une aire de géographique de

1,3 Mha et compte 1 280 producteurs de lait environ non fermier pour une production fromagère de 6 800 tonnes.

b) Groupe des vins, spiritueux et fruits sous SIQO

Sur l'aire d'étude éloignée, seule l'IGP Haute-Marne est identifiée sur le canton de Poissons.

- **IGP Haute-Marne**

  Cette IGP regroupe des vins mousseux, des vins primeurs et des vins tranquilles et couvre la totalité du département de la Haute-Marne. Aucun producteur pour cet IGP n'est recensé sur l'aire d'étude éloignée (cf. Figure 2.3-14). Le projet de centre de stockage est localisé en périphérie du périmètre de l'IGP.

  Les vignobles les plus proches de cet IGP sont situés à Rizaucourt - Buchey distants de 40 km du projet de centre de stockage Cigéo. Les autres appellations sont distantes de plus de 30 km pour les côtes de Toul.

  L'aire d'étude de la ligne électrique 400 kV traverse cette IGP Haute-Marne et celle de l'AOC Mirabelle (Eaux de vie de fruits) et l'IGP Mirabelles de Lorraine (fruit à noyau).

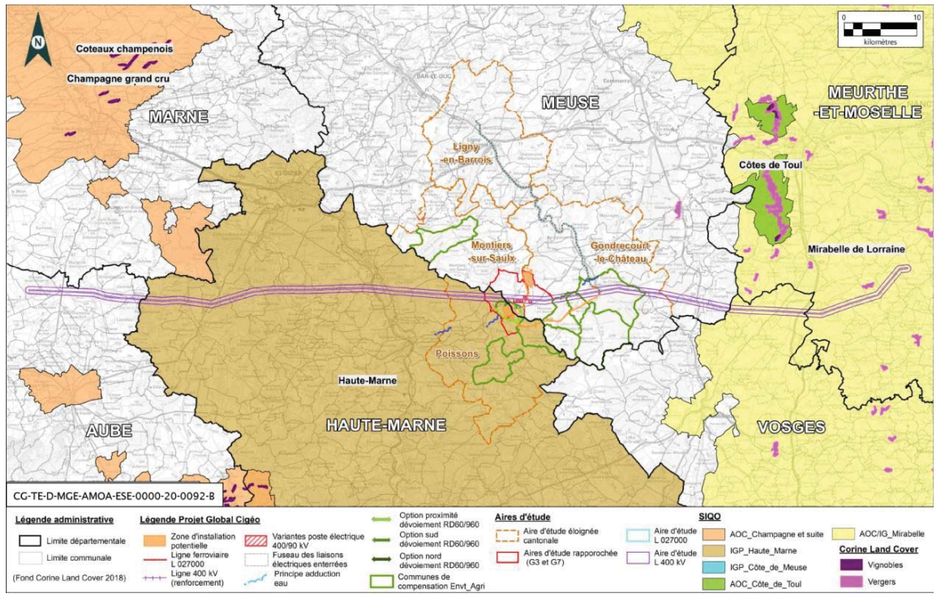


Figure 2.3-14 Vins et eaux de vie sous SIQO sur les aires d'étude agricole du projet global Cigéo

- **L'IGP Mirabelle de Lorraine pour sa production de fruit.**

  Seule, l'aire d'étude de la ligne électrique 400 kV traverse l'AOC Mirabelle (Eaux de vie de fruits) et l'IGP Mirabelles de Lorraine (fruit à noyau).

  Le lien avec l'origine géographique repose sur la réputation du produit. Cette réputation est basée principalement sur des références historiques (16e siècle), sur la place de la Mirabelle de Lorraine dans la gastronomie locale et dans la littérature ainsi que sur l'existence de fêtes traditionnelles toujours vivantes aujourd'hui. Le cahier des charges de cette IGP fixe des conditions de production : les vergers doivent être clonés impérativement, d'une surface minimale de 50 ares (ou 20 ares si la parcelle est attenante à un bloc fruitier cultivé par le même exploitant), densité de plantation inférieure à 400 arbres à l'hectare et faire l'objet d'une protection sanitaire du verger contre les

maladies et les ravageurs. L'aire géographique de l'IGP Mirabelles de Lorraine couvre la totalité de la région Lorraine.

- **L'AOC-IG Mirabelle de Lorraine pour sa production d'eaux-de-vie**

  La « Mirabelle de Lorraine » provient exclusivement de prunes de la sous-espèce Mirabelle (Prunus domestica L., subsp. syriaca Borkh). Les eaux-de-vie à appellation d'origine contrôlée « Mirabelle de Lorraine » présentent lors de la mise en marché à destination du consommateur un titre alcoométrique volumique supérieur ou égal à 45 %, une teneur en substances volatiles de 300 grammes au minimum par hectolitre d'alcool pur et une teneur en acétate d'éthyle inférieure ou égale à 500 grammes par hectolitre d'alcool pur.

  La « Mirabelle de Lorraine » est une eau-de-vie blanche, toutefois, une légère coloration ambrée peut apparaître lors de l'élevage. Elle est caractérisée au nez par des arômes fruités, sans aucune note éthérée. En bouche, l'eau-de-vie est sans dureté, elle ne présente ni acidité excessive ni goût parasite, et révèle une impression franche et nette qui évoque le fruit dont elle est issue.

c) Groupe des productions de volailles sous SIQO

Le territoire concerné n'est pas couvert par une appellation de production de volailles. Seule l'aire d'étude de la Ligne électrique 400 kV traverse l'IGP (Indication géographique protégée) des volailles de la Champagne au nord-ouest du département de la Haute-Marne (cf. Figure 2.3-15).

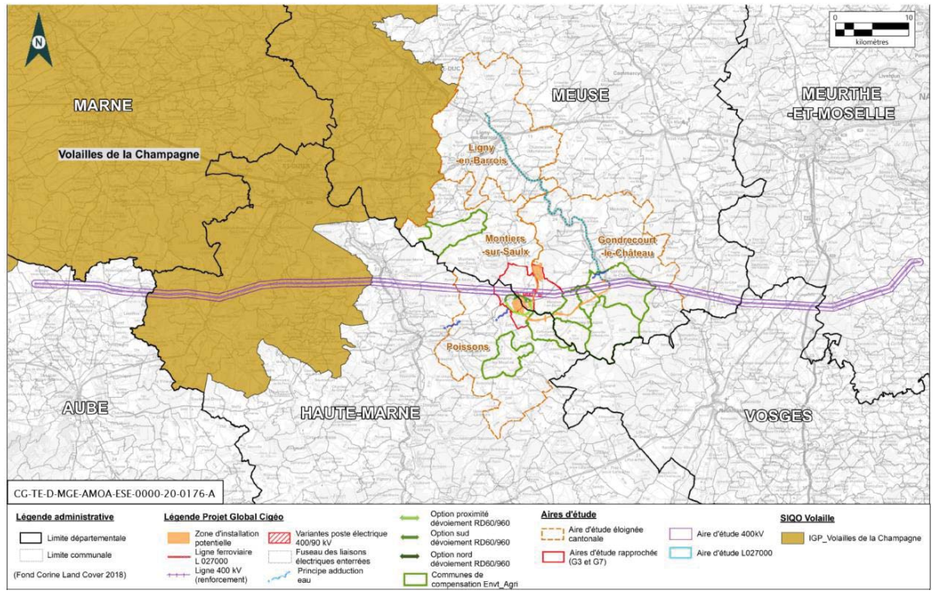


Figure 2.3-15 Productions agricoles de volailles sous SIQO

- **IGP des volailles de la Champagne**

  Les volailles de Champagne sont des volailles à chair ferme et présentant des qualités organoleptiques supérieures, abattues à un âge proche de la maturité sexuelle, présentées en frais ou surgelé, entier, prêt à cuire, effilé ou en découpe (sauf pour les volailles festives). Tous les membres de la filière sont répertoriés (couvoirs, fabricants d'aliments, éleveurs, abattoirs).

2.3.6.3 Part des exploitations agricoles avec une production sous signes officiels de la qualité et de l'origine (SIQO)

15 % des exploitations de Haute-Marne et 25 % en Meuse ont une production sous signe de qualité (bio, signe de qualité ou démarche, y compris viticulture). Cette part des exploitations avec une production sous SIQO varie de 3 % pour le canton de Poissons à 29 % pour celui de Gondrecourt-le-Château (cf. Figure 2.3-16). Seulement 5 % des exploitations de Meuse et de Haute-Marne ont une production sous signe de qualité AOC IGP ou label rouge (hors vin) et de 3 % à 8 % au niveau cantonal.

Le développement de la commercialisation en circuit court (hors vin) se confirme pour 8 % des exploitations en Haute-Marne et plus de 13 % en Meuse. Cette proportion est inférieure à 5 % pour les 4 cantons de l'aire d'étude éloignée comptant peu de villes porteur cette nouvelle forme de commercialisation.

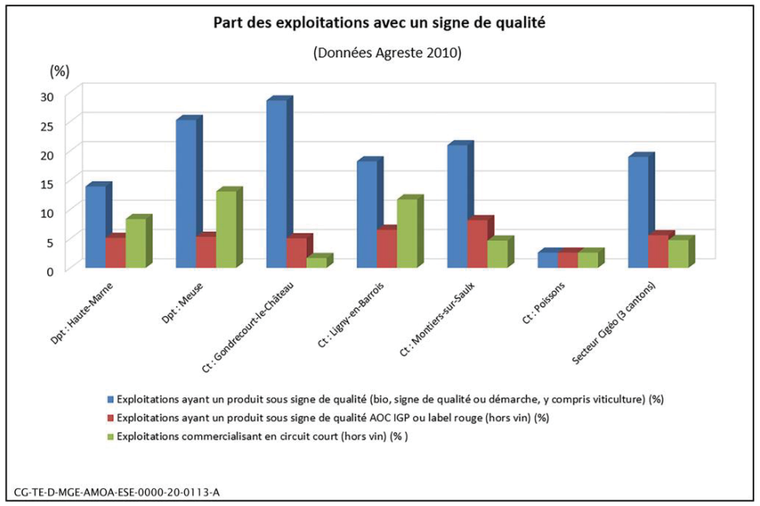


Figure 2.3-16 Part des exploitations avec un signe de qualité

2.3.7 Diversification agricole

Il faut entendre par diversification agricole les activités lucratives indissociables de l'exploitation, donc réalisées avec les moyens humains, patrimoniaux et matériels de l'exploitation.

2.3.7.1 Différentes formes de diversification

Deux formes de base sont à différencier dans la diversification de l'activité agricole : la diversification purement agricole et la diversification structurelle ou entrepreneuriale.

- **La diversification agricole**

  Elle comprend la culture et l'élevage non conventionnels dans la zone considérée par effet de transposition d'un modèle ou d'une filière de production extérieure au secteur. Elle peut faire preuve d'innovation comme de simple transposition géographique, conjoncturelle ou non, de filières de production agricole dites classiques (culture, élevage).

- **La diversification structurelle ou entrepreneuriale**

  Elle correspond, quant à elle, au développement d'activités non agricoles basées sur l'exploitation même et exercée principalement par l'agriculteur et sa famille.

Les filières principales de cette forme de diversification sont le tourisme agricole, la vente directe et l'élaboration - transformation de produits agricoles, la gestion environnementale, la mise à disposition ou la location de terrains et édifices pour des usages non agricoles (chasse, pêche, tourisme, restauration…). Toutes ces activités n'ont comme point commun que leur caractère non directement et techniquement agricole.

2.3.7.2 Type d'activité de diversification

Plusieurs types d'activités de diversification sont identifiés :

- **Les filières dites classiques**

  Elles sont définies comme tel en raison de leur existence déjà ancienne en raison de leur facilité de mise en œuvre due à la disponibilité de leur élément constitutif.

  La vente directe au consommateur de produits agricoles, transformés ou non : ventes à caractère permanent à la ferme, en bord de route, sur les marchés, aux unités de restauration, par correspondance ou par l'intermédiaire d'un GIE. Ne sont pas concernées les ventes occasionnelles ou négligeables et les ventes à un négoce, grossiste ou distributeur. Ces ventes s'exercent sur des produits primaires (légumes, fruits…) ou par transformation de produits primaires en produits secondaires, que la matière première soit produite sur l'exploitation ou acheminée ailleurs (conserveries, fruits séchés, confitures, découpe et conserves de viandes, volailles à cuire, fromages, production de vins, vêtements de laine…).

  Le tourisme à la ferme : activités d'hébergement seul (camping à la ferme, gîte rural, chambre d'hôte, gîte d'étape ou de groupe), de restauration seule (table d'hôtes, ferme auberge, dégustation de produits locaux…), ou d'hébergement – restauration.

  Les travaux à façon : prestations de service effectuées hors de l'exploitation mais rémunérées au bénéfice de l'exploitation et réalisées avec les moyens humains et/ou matériels de l'exploitation (travaux d'exploitation forestière, travaux agricoles, scierie). S'y sont ajoutées des filières nouvelles liées à l'entretien du territoire (déneigement, éparage, maçonnerie, travaux paysagers ou environnementaux…).

- **Les filières dites nouvelles**

  Elles sont de plusieurs ordres et certaines sont à créer ou organiser :

  Activités lucratives de loisirs : elles sont très diverses : visites d'exploitation, activités sportives ou récréatives, fermes pédagogiques, fermes équestres, journées ou séjours de chasse ou de pêche, location de matériels ou d'animaux de promenade…

  Productions liées aux bioénergies ou environnementales : production d'énergie renouvelable pour la vente assurée par mini-barrages et microcentrales, éoliennes, biogaz et méthanisation, panneaux photovoltaïques, taillis de bois à courte rotation pour le bois de chauffage, agroforesterie, déchets, préservation et entretien de la biodiversité…

  Artisanat : fabrication d'objets à partir de produits de l'exploitation (vannerie, tannerie, vêtements en laine, sculpture sur bois, fabrication de meubles

  Plus de 20 % des exploitations agricoles du territoire concerné ont une activité de diversification alors qu'elles sont moins de 18 % en Meuse et 14 % en Haute-Marne (cf. Tableau 2.3-17).

Tableau 2.3-17 Part de diversification des exploitations agricoles

AGRESTE 2010	Nombre total Exploitations	Exploitations ayant une activité de diversification	(%)
Dép. : Haute-Marne	2 245	305	14
Dép. : Meuse	2 975	525	18
Ct : Gondrecourt-le-Château	119	29	24

AGRESTE 2010	Nombre total Exploitations	Exploitations ayant une activité de diversification	(%)
Ct : Ligny-en-Barrois	77	14	18
Ct : Montiers-sur-Saulx	86	24	28
Ct : Poissons	77	9	12
Regroupement des 4 cantons	359	76	21

La diversification des exploitations agricoles de Meuse et de Haute-Marne se compose principalement de travaux à façon agricoles pour 54 % et non agricole pour 12 % puis dans une moindre proportion la transformation de produits agricoles pour 6 % et l'hébergement à 5 % (cf. Figure 2.3-17). Sur le secteur étudié des 4 cantons, les travaux à façons agricoles représentent moins de 14 %.

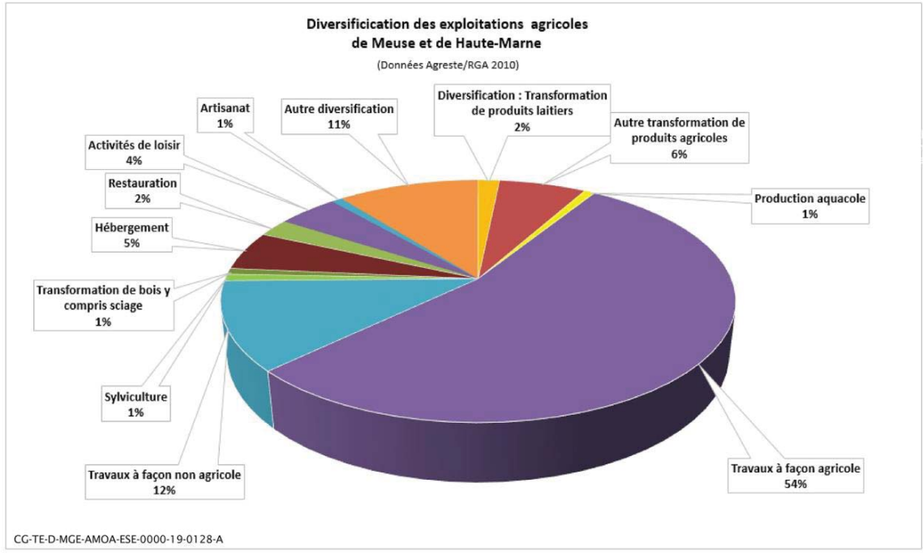


Figure 2.3-17 Diversification des exploitations agricoles de Meuse et de Haute-Marne

La diversification reste une activité économique secondaire qui représente moins de 10 % du chiffre d'affaire pour 66 % des exploitations de Meuse et de Haute-Marne et 80 % sur le secteur des trois cantons étudiés. Sur ce secteur moins de 5 % des exploitations ont un chiffre d'affaire lié à la diversification supérieure à 75 % de leur activité.

Plus 75 % des exploitations de Meuse et de Haute-Marne sollicitent au moins une personne de main d'œuvre familiale pour participer aux activités de diversification et seulement 11 % d'entre elles ont recruté un salarié permanent (cf. Figure 2.3-18).

La part familiale varie de 22 % à 80 % sur les 4 cantons étudiés alors que la proportion ayant un salarié dédié est nettement supérieure à la moyenne départementale avec plus de 18 % d'entre elles.

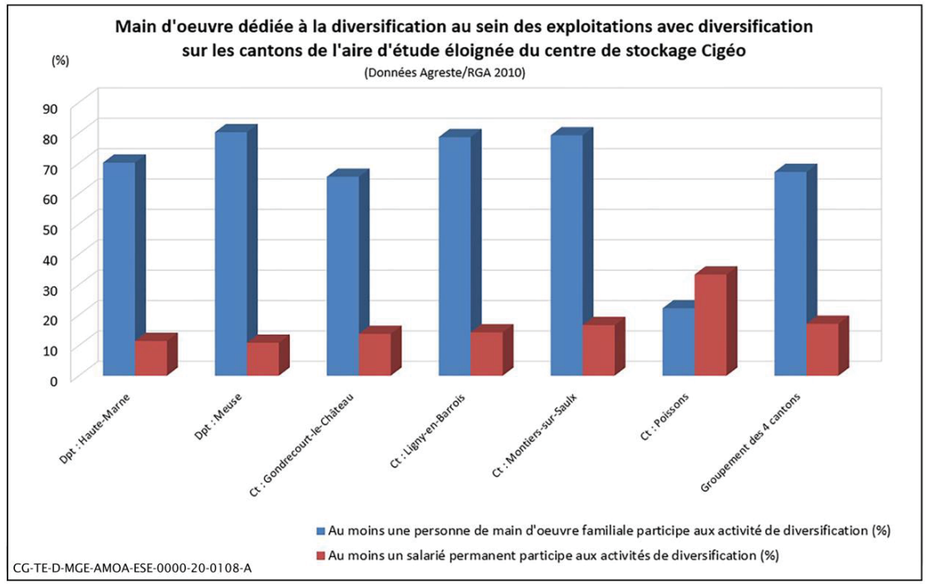


Figure 2.3-18 Main d'œuvre dédiée à la diversification agricole

Depuis quelques années la diversification des exploitations a pris une nouvelle forme avec le développement :

- d'unités industrielles de méthanisation au dimension très variable de production de biogaz valorisée en cogénération électrique avec une valorisation de la chaleur ou en injection dans des réseaux de transport ou de distribution.
- d'agrivoltaïsme avec l'installation de panneaux photovoltaïques au sol pouvant contribuer à la protection de certaines cultures face aux aléas climatique. Cette forme de forme de développement du photovoltaïsme complète celle déjà engagée sur les bâtiments agricoles initiée depuis plus de 20 ans.

2.3.8 Filières économiques agricoles

Répartition de l'activité économique pour les filières amont et aval de l'agriculture.

2.3.8.1 Filière céréalière

Plusieurs coopératives agricoles et plusieurs opérateurs privés ont des infrastructures pour le commerce de gros de céréales, de semences et d'aliments pour le bétail (approvisionnement, collecte) en Meuse et Haute-Marne. Les plus présents en Haute-Marne et Meuse sont Vivescia basée à Reims (dép.51) et EMC2 basée à Bras-sur-Meuse (dép.55). Ces deux coopératives disposent de nombreuses infrastructures pour l'approvisionnement et la collecte des céréales et des oléo protéagineux sur les quatre anciens cantons de Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur- Saulx, Ligny-en-Barrois et Poissons. Quatre opérateurs privés (Société HOUPIEZ, STOPHYTRA, SOUFFLET Agriculture) y interviennent également.

Les principaux opérateurs du secteur sont des coopératives agricoles de taille majeure :

- EMC2 : coopérative agricole basée à Bras sur Meuse ;
- VIVESCIA : coopérative agricole basée à Reims (dép.51).

Tableau 2.3-18 Coopératives d'Agro-fournitures et Agro-machinisme

SIRENE 2017	Siège	Filiales	activité	Effectif moyen
EMC2	Bras sur Meuse (55)	22	Commerce de gros	375
VIVESCIA	Reims (51)	120	Commerce de gros	635

Ces deux coopératives disposent de nombreuses infrastructures pour l'approvisionnement et la collecte des céréales et des oléoprotéagineux sur l'aire d'étude éloignée (cf. Tableau 2.3-19 et Figure 2.3-19).

Tableau 2.3-19 Établissements des deux coopératives sur l'aire d'étude éloignée

VIVESCIA		EMC2	
Localisation	Nbre. salariés	Localisation	Nbre. salariés
Montiers-sur-Saulx	1-2	Menaucourt	1-2
Velaine	1-2	Ligny-en-Barrois	1-2
Ménil-sur-Saulx	1-2	Germay	3-5
Soulaincourt	1-2	Germisay	3-5
Houdelaincourt	1-2	Laneuville/Saint-Joire	1-2
Gondrecourt-le-Château	1-2		

Plusieurs opérateurs privés sont également présents sur l'aire d'étude des 4 cantons :

- SOUFFLET Agriculture ;
- AVENIR AGRO ;
- STOPHYTRA ;
- SOCIETE HOUPPIEZ.

Tableau 2.3-20 Sociétés d'Agro-fournitures (SA)

SIRENE 2017	Sites	Localisation	Filiales	Activité	Effectif moyen
Société HOUPIEZ	Menaucourt (dép.55)	Limite aire d'étude éloignée	0	Commerce de gros	14
STOPHYTRA SAS	Sampigny (dép.55)	Limite aire d'étude éloignée	0	Commerce de gros	16
AVENIR AGRO	Forcelle-saint-Gorgon (dép.54)	Limite aire d'étude éloignée	0	Commerce de gros	30

SIRENE 2017	Sites	Localisation	Filiales	Activité	Effectif moyen
SOUFFLET Agriculture	Tronville-en-Barrois (dép.55) Siège à Nogent-sur-Seine (10)	1 site sur aire d'étude	19	Commerce de gros	1 926

Deux sociétés de commerce de fourrages sont également recensées dans le périmètre de l'aire d'étude éloignée.

Tableau 2.3-21 Société de commerce de fourrages (SARL)

SIRENE 2017	Sites	Localisation	Filiales	Effectif moyen
SARL MEUSE FOURRAGE	Abainville (dép.55)	1 site sur aire d'étude éloignée	0	1-2
SARL DES OUILLONS	Chanteraine (dép.55)	1 site sur aire d'étude éloignée	0	1-2

2.3.8.2 Agro-machinisme

Dans l'aire d'étude éloignée, plusieurs sociétés d'agro-machinismes interviennent (cf. Tableau 2.3-22).

Tableau 2.3-22 Sociétés d'Agro-machinisme

SIRENE 2017	Siège	Filiales	Activité	Effectif moyen
CHEVAL SAS	Chauvoncourt (dép.55)	5	Machinisme	20-49
COLLET	Rupt (dép.52)	6	Machinisme	6-9
GRAILLOT	Joinville (dép.52)	3	Machinisme	6-9
ROCHA	Longeville-en-Barrois	4	Machinisme	226

Plusieurs établissements sont recensés sur l'aire d'étude éloignée ou à proximité :

Tableau 2.3-23 Établissements d'agro-machinisme sur l'aire d'étude éloignée et à proximité

SIRENE 2017	Sites	Localisation	Activité	Effectif moyen
CHEVAL	Gondrecourt-le-Château (dép.55)	Aire d'étude éloignée	Machinisme	1-2
COLLET	Velaine (dép.55)	Aire d'étude éloignée	Machinisme	1
CHEVAL	Lérouville (dép.55)	Limite aire d'étude éloignée	Machinisme	1

SIRENE 2017	Sites	Localisation	Activité	Effectif moyen
COLLET	Rupt (dép.52)	Limite aire d'étude éloignée	Machinisme	3-5
GRAILLOT	Joinville (dép.52)	Limite aire d'étude éloignée	Machinisme	3-5
ROCHA	Longeville-en-Barrois (dép.55)	Limite aire d'étude éloignée	Machinisme	3-5

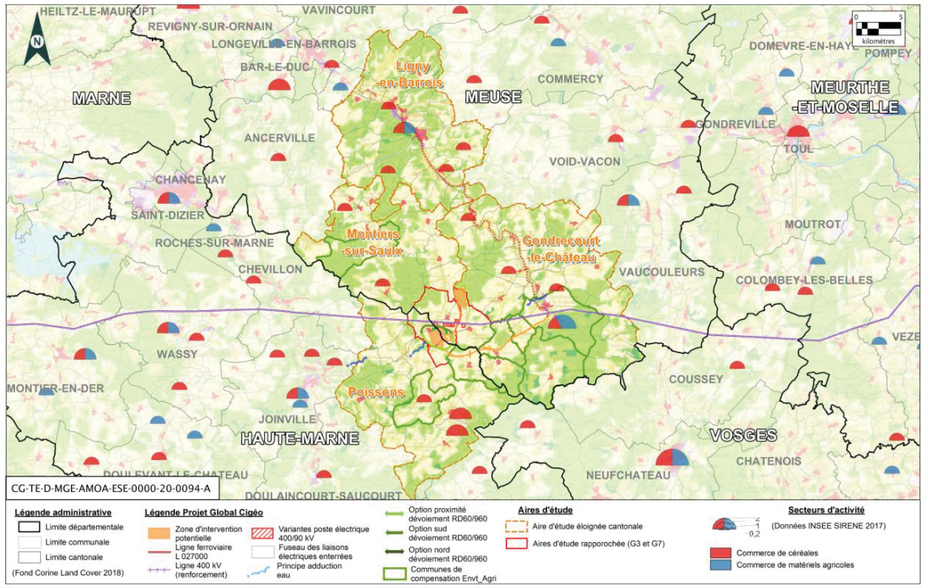


Figure 2.3-19 Carte de localisation des entreprises d'agro-fournitures et d'agro-machinisme

2.3.8.3 Filière viande et commerce de gros animaux

Sur l'aire d'étude des 4 cantons plusieurs entreprises de commerce de gros bovins sont recensées à Mauvages et Saint-Joire (cf. Figure 2.3-20).

D'autres acteurs importants de la filière viande interviennent également sur la zone sans pour autant disposer d'infrastructures spécifiques à l'exception de la société Néalia :

- ALOTIS : coopérative de production bovine intervenant sur 3 départements : Meuse, Haute-Marne et Vosges qui a fusionné avec EMC2 ;
- Vauthier SEPAC : négociant de la coopérative VIVESCIA, qui intervient pour l'approvisionnement en aliments du bétail très présent en Haute-Marne ;
- NEALIA : créé en 2008 par le regroupement de 3 spécialistes régionaux de la nutrition animale (Casdar, Copam et Étienne) localisé à Saint martin sur le Pré (dép.52) Pauvres (dép.08) et Dompaire (dép. 88).

Tableau 2.3-24 *Coopératives et société de la filière fabrique d'aliments et commerce de gros animaux*

SIRENE 2017	Siège	Filiales	Activité	Effectif moyen
ALOTIS	Belleville-sur-Meuse (dép.55)	3	Commerce gros animaux	635
NEALIA	Saint-Martin-sur-le-Pré (dép.51)	2	Fabricants d'aliments	82
VAUTHIER SEPAC	Avrécourt (dép.52)	0	Commerce de Gros	18

Plusieurs établissements de ces sociétés et d'autres sont récences sur l'aire d'étude éloignée ou à proximité :

Tableau 2.3-25 *Établissements de fabrique d'aliments et de commerce de gros animaux sur l'aire d'étude éloignée et à proximité*

SIRENE 2017	Sites	Localisation	Activité	Effectif moyen
NEALIA	Velaine (dép.55)	Aire d'étude éloignée	Fabricants d'aliments	1-2
MEYER	Mauvages (dép.55)	Aire d'étude éloignée	Commerce gros animaux	1-2
LARCHER SAS	Saint-Joire (dép.55)	Aire d'étude éloignée	Commerce gros animaux	1-2
FREDY LARCHER	Saint-Joire (dép.55)	Aire d'étude éloignée	Commerce gros animaux	1-2

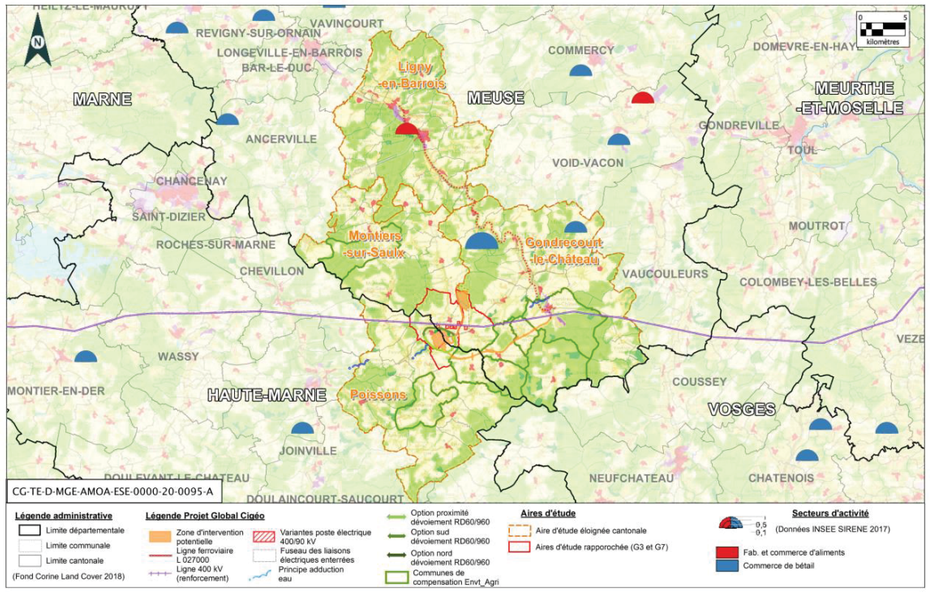


Figure 2.3-20 *Carte de localisation des entreprises de fabrication d'aliments et de commerces de gros animaux*

2.3.8.4 Filière laitière et fromagère

En Meuse, plusieurs acteurs économiques interviennent dans la filière laitière (cf. Tableau 2.3-26). La coopérative « Union Laitière de la Meuse (ULM) » collecte et commercialise le lait sur tout le département de la Meuse. Le lait produit en Meuse est destiné à la production de fromage à pâtes molles et à pâtes pressées cuites (brie de Meaux, brie pasteurisé, Coulommiers, Bombel et Mimolette).

La Meuse est un territoire fromager qui transforme 77 % de sa collecte de lait dans le département. Le département de la Meuse représente 41 % du litrage total transformé en Lorraine. Six établissements meusiens emploient au moins cent salariés dans l'industrie laitière. L'ULM fournit notamment la fromagerie Renard-Gillard (AOC brie de Meaux) à Biencourt-sur-Orge à proximité du centre de stockage Cigéo (cf. Tableau 2.3-26).

Tableau 2.3-26 *Industrie laitière et fromagère en Meuse (Base SIRENE-INSEE 2017)*

Fabrication de fromage	Siège	Activité	Salariés
Fromagerie Henri Hutin	Dieue-sur-Meuse (dép.55)	Fromagère	300 à 320
Schreiber France	Cléry-le-Petit (dép.55)	Fromagère	230 à 250
Société Fromagère de Raival	Raival (dép.55)	Fromagère	100 à 200
Compagnie des Fromages et Richemont	Vigneulles-Lès-Hattonchâtel (dép.55)	Fromagère	180 à 200
Fromagerie Renard Gillard	Biencourt-sur-Orge (dép.55)	Fromagère	100 à 120
Fromagerie de Dongé	Cousance-les-Triconville (dép.55)	Fromagère	50 à 99
Lacto Sérum France	Verdun-Baleycourt (dép.55)	Autres produits laitiers	120 à 140

En Haute-Marne, c'est la société Lactalis qui collecte le lait. Dans ce département la production laitière est organisée autour de deux bassins :

- le Der, au nord, pour une production intensive, avec des animaux nourris au maïs ;
- le Bassigny au sud, autour de Montigny-le-Roi, vaste zone herbagère où l'élevage est davantage extensif, avec la production de lait AOC (fournisseur d'Entremont) ;

Les Cantons de Poissons et Chevillons se situent à la périphérie du Der.

Plusieurs entreprises fromagères de taille importante sont également présentes en Haute-Marne ainsi qu'une unité de fabrication de glaces et sorbets (cf. Tableau 2.3-27).

Tableau 2.3-27 *Industrie laitière et fromagère en Haute-Marne (Base SIRENE-INSEE 2017)*

Fabrication de fromage	Établissements	Activité	Salariés
Fromagerie Germain	Chalancey (dép.52)	Fromagère	50 à 99
SARL les Fromagers de Chevillon	Chevillon (dép.52	Fromagère	10 à 19
Bongrain Gérard	Illoud (dép.52)	Fromagère	250 à 499
Entremont alliance	Langres/Val de Meuse (dép.52)	Fromagère	250 à 499
Cogesal miko	Sorcy-Saint-Martin (dép.52)	Glaces et sorbets	100 à 199

Plusieurs établissements de ces sociétés et d'autres sont recensés sur l'aire d'étude éloignée ou à proximité :

Tableau 2.3-28 Établissements de filière laitière et fromagère sur l'aire d'étude éloignée et à proximité

SIRENE 2017	Sites	Localisation	Activité	Effectif moyen
Fromagerie Renard Gillard	Biencourt-sur-Orge (dép.55)	Aire d'étude éloignée	Fromagère	100 à 120
Société Fromagère de Raival	Raival (dép.55)	Limite aire d'étude éloignée	Fromagère	120
SARL les Fromagers de Chevillon	Chevillon (dép.52)	Limite aire d'étude éloignée	Fromagère	10 à 19
Fromagerie Dongé	Cousances les Triconvilles (dép.55)	Limite aire d'étude éloignée	Fromagère	50 à 99

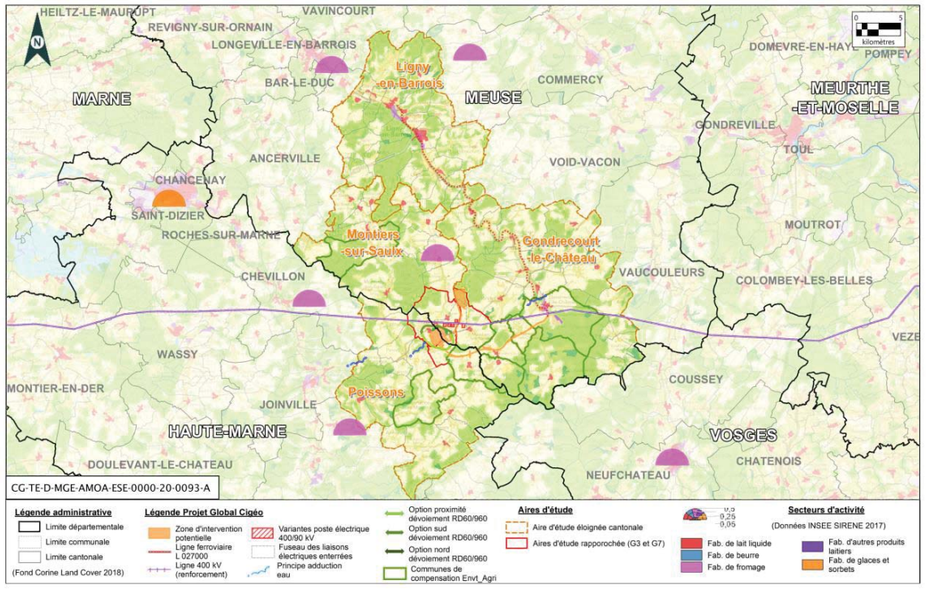


Figure 2.3-21 Carte de localisation des industries laitières

2.3.8.5 Filière industrie agroalimentaire

À l'échelle départementale, l'industrie agro-alimentaire qui compte le plus d'établissements et de salariés se concentre principalement sur 2 activités de transformations (cf. Tableau 2.3-29) :

Code APE (activité principale exercée) - Libellé

- 101 - Transformation et conservation de la viande ;
- 105 - Fabrication de produits laitiers.

Auxquelles s'ajoutent pour la Meuse celles :

- 103 – Transformation et conservation de fruits et légumes ;
- 07 - Fabrication de produits de boulangerie pâtisserie et pâtes.

Tableau 2.3-29 Industrie agro-alimentaire en Meuse et Haute-Marne

Fiches Territoire (Insee-Connaissance Locale de l'Appareil Productif 2015)	Dép. : Haute-Marne		Dép. : Meuse	
	Nombre d'établissements 2015 (Nb)	Effectif salariés 2015 (Nb)	Nombre d'établissements 2015 (Nb)	Effectif salariés 2015 (Nb)
101-Transformation et conservation de la viande	3	21	5	126
102-Transformation et conservation du poisson	0	0	0	0
103-Transformation et conservation des fruits et légumes	1	1	2	193
104 - Fabrication et graisses végétales et animales	0	0	0	0
105 - Fabrication des produits laitiers	8	983	9	1 161
106 - Travail des grains et fabrication de produits amylacés	0	0	3	24
107 - Fabrication de boulangerie de pâtisserie et pâtes	0	0	5	116
108 - Fabrication d'autres produits alimentaires	3	22	2	16
109 - Fabrication d'aliments pour animaux	1	6	2	30
11- Fabrication de boissons	2	7	5	22
Total IAA	**18**	**1 040**	**33**	**1 688**
Industrie manufacturière	457	12 125	370	8 359
Part des IAA en % dans l'industrie manufacturière	3,9	8,6	8,9	20,2
4621Z-Commerce de gros céréales	31	157	50	376
4623Z-Commerce de gros d'animaux vivants	7	41	8	19

La part des industries agro-alimentaires dans l'industrie manufacturière représente 8,6 % des effectifs salariés en Haute-Marne et plus de 20 % en Meuse.

Le commerce de gros de céréales et d'animaux vivants cumule 38 établissements pour 198 salariés en Haute-Marne et 58 établissements pour 395 salariés en Meuse.

Sur l'aire d'étude éloignée, la part des industries agro-alimentaires dans l'industrie manufacturière représente en moyenne 10 % des établissements et 21 % des effectifs salariés en 2015 mais avec de grandes disparités d'un canton à l'autre (seulement 1 % des salariés sur le canton de Ligny-en-Barrois et plus de 48 % sur le canton de Montiers-sur-Saulx) (cf. Tableau 2.3-30).

Tableau 2.3-30 Industrie agro-alimentaire sur les cantons de l'aire d'étude éloignée des 4 cantons

Source : mutualité Sociale Agricole 2016	Ct. : Gondrecourt le château		Ct. : Ligny-en-Barrois		Ct. : Montiers sur Saulx		Ct. Poissons	
	Étab. 2015 (Nb)	Salariés 2015 (Nb)	Étab. 2015 (Nb)	Salariés 2015 (Nb)	Étab. 2015 (Nb)	Salariés 2015 (Nb)	Étab. 2015 (Nb)	Salariés 2015 (Nb)
101-Transformation et conservation de la viande	0	0	0	0	0	0	0	0
102-Transformation et conservation du poisson	0	0	0	0	0	0	0	0
103-Transformation et conservation des fruits et légumes	1	1	0	0	0	0	0	0
104 - Fabrication et graisses végétales et animales	0	0	0	0	0	0	0	0
105 - Fabrication des produits laitiers	0	0	0	0	1	78	0	0
106 -Travail des grains et fabrication de produits amylacés	0	0	0	0	0	0	0	0
107- Fabrication de boulangerie de pâtisserie et pâtes	0	0	0	0	0	0	0	0
108 - Fabrication d'autres produits alimentaires	0	0	0	0	0	0	0	0
109 - Fabrication d'aliments pour animaux	0	0	1	9	0	0	0	0
11- Fabrication de boissons	0	0	0	0	0	0	0	0
Total IAA	**1**	**1**	**1**	**9**	**1**	**78**	**0**	**0**
Industrie manufacturière	14	200	22	1 137	6	178	1	3
Part des IAA en % dans l'industrie manufacturière	50	10	5	1	50	48	0	33
4621Z - Commerce de gros céréales	3	9	4	24	2	8	1	1
4623Z - Commerce de gros d'animaux vivants	3	10	0	0	0	0	0	0

2.3.9 Emploi agricole

L'agriculture est un secteur qui est fortement représenté en nombre d'établissements pour le périmètre d'étude, mais reste peu pourvoyeur d'emplois directs comme c'est le cas à l'échelle nationale.

La part agricole de la population active représente environ 5 % à 7 % à l'échelle départementale de Meuse et de Haute-Marne et 9 % en moyenne sur l'aire d'étude éloignée avec 35 % sur le seul canton de Poissons et seulement 2 % sur le canton de Ligny-en-Barrois. Cette répartition des actifs démontre une fois encore l'importance de l'activité agricole à proximité du centre de stockage Cigéo (cf. Tableau 2.3-31).

40 % des emplois agricoles salariés (ETP) sont en CDD sur les départements de Meuse et de Haute-Marne (MSA 2016). 75 % de ces emplois agricoles sont occupés par des hommes, et 65 % ont moins de 40 ans. Ces emplois sont majoritairement sur des exploitations de cultures et d'élevage non spécialisés (82 % en Haute-Marne et 68 % en Meuse).

En 2015, l'industrie agroalimentaire a employé environ 1 400 personnes en Haute-Marne et 1688 en Meuse dont près de 60 % interviennent dans la production de produits laitiers et en particulier de fromages (79). L'industrie agro-alimentaire représente en moyenne dans les quatre anciens cantons, 10 % des établissements industriels et plus de 20 % des effectifs salariés en 2015 mais avec de grandes disparités d'un canton à l'autre : seulement 1 % des salariés sur le canton de Ligny-en-Barrois et plus de 48 % sur le canton de Montiers-sur-Saulx employés pour la fabrication de produits laitiers.

Tableau 2.3-31 Répartition et caractéristiques de la population active

Source : Insee Recensements de population 2015	Caractéristiques des emplois					
	Emplois dans le secteur agricole	Emplois dans l'industrie	Emplois dans la construction	Emplois dans le commerces-transports-services	Emplois administration publique	Part agricole (%)
Dép. : Haute-Marne	3 731	14 230	4 050	23 604	26 015	5
Dép. : Meuse	4 609	10 184	4 461	19 217	26 513	7
Ct : Gondrecourt-le-Château	135	242	176	236	309	12
Ct : Ligny-en-Barrois	72	1 467	153	976	808	2
Ct : Montiers-sur-Saulx	139	266	62	312	104	16
Ct : Poissons	177	38	65	90	140	35
Regroupement des 4 cantons	**523**	**2 013**	**456**	**1 614**	**1 361**	**9**

2.4 Activités agricoles sur les aires d'étude rapprochées du territoire concerné

Les sept communes regroupées dans l'aire d'étude rapprochée sont des communes rurales. La densité de population y est très faible, de l'ordre de 12 habitants par km². La densité de la population dans la région Grand-Est est de l'ordre de 96 habitants par km² (cf. Tableau 2.4-1).

Tableau 2.4-1 Description des territoires des aires d'étude rapprochées

Source : Insee-Recensements de population 2015	Population, superficie en km² et communes du territoire					
	Population en 2010	Population en 2015	Évol. 2015/2010 (%)	Nb de communes en 2015	Superficie en km²	Densité en 2015 (hab./km²)
G3 (3 communes)	164	169	3 %	3	33	5
G7 (7 communes)	1 633	1 538	-6 %	7	123	12

En l'absence de nouveau recensement général agricole, l'actualisation des données agricoles a été menée sur les deux périmètres restreints (G3 et G7) décrits précédemment à partir des données extraites par le SRISE (Service Régional de l'Information Statistique et Économique) qui élabore des fiches territoires regroupant plusieurs sources.

2.4.1 Occupation des sols

En 2014, l'occupation des sols des deux aires d'étude rapprochées est majoritairement constituée de terres agricoles (terres arables, cultures permanentes, prairies et autres terres agricoles) à 75 % sur la zone G3 et 63 % sur la zone G7. Cette part des surfaces agricoles est nettement supérieures à celle observée à l'échelle cantonale de 56 % et départementale de 52 % en Haute-Marne et 55 % en Meuse (cf. Figure 2.4-1). Cet indicateur démontre la prédominance des surfaces agricoles à l'échelle communale de la zone d'intervention potentielle de surface concernée par des emprises agricoles.

Les terres agricoles sur ces deux aires d'étude G3 et G7 se répartissent de 13 à 18 % en prairie permanente et par différence de 82 % à 87 % de terres labourables. La part des prairies permanentes est semblable à celle observée à l'échelle cantonale de 18 % mais nettement inférieure à celle départementale de 35 % en Haute-Marne et 32 % en Meuse.

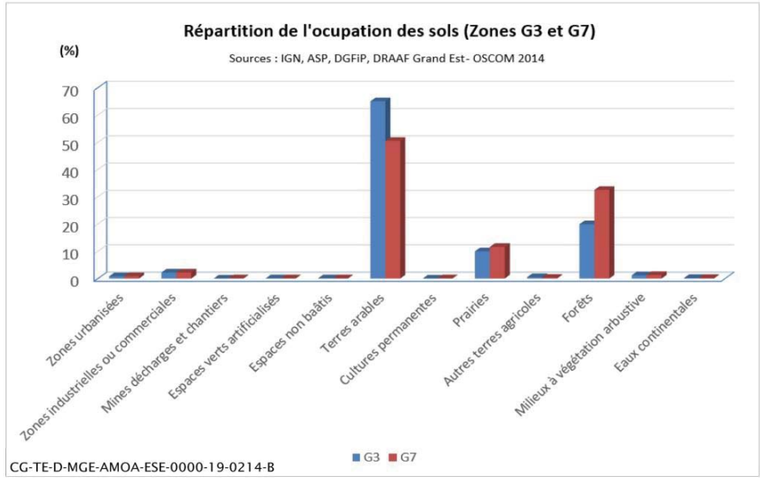


Figure 2.4-1 Répartition de l'occupation des sols sur les aires d'étude rapprochées (G3 et G7) (2014)

Tableau 2.4-2 Répartition des sols agricoles par commune des aires d'étude rapprochées

Dernier recensement général agricole (2010) (Localisation : les données se rapportent aux exploitations ayant alors leur siège sur la zone considérée.)		ha	Cirfontaines-en-Ornois	Gillaume	Saudron	Bure	Gondrecourt-le-château	Horville-en-Ornois	Mandres-en-barrois	Total
			1 396	517	914	1 843	5 142	761	1 773	12 346
Terres agricole	Terres agricoles (ha)	ha	984	466	726	1 280	2 279	686	1 289	7 710
	Terres agricoles (ha)/SURFACE TOTALE	%	70	90	79	69	44	90	73	62
Superficie agricole utile (SAU)	Surface Agricole Utile	ha	627	749	624	1 334	1 775	500	1 951	7 560
	Surface agricole Utile/SURFACE TOTALE	%	45	145	68	72	35	66	110	60
Superficie terres labourables	Superficie en terres labourables	ha	529	627	442	1 219	1 449	377	1 488	6 131
	Superficie en terres labourables/Surface agricole utile	%	84	84	71	91	82	75	76	81

2.4.2 Contexte pédologique

La carte pédologique de la zone d'étude de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement actualisée en 2018 qui couvre les aires d'étude rapprochées apporte une description relativement fine de la nature des sols et de leurs caractéristiques agronomiques dont dépendent les productions agricoles (cf. Figure 2.4-2).

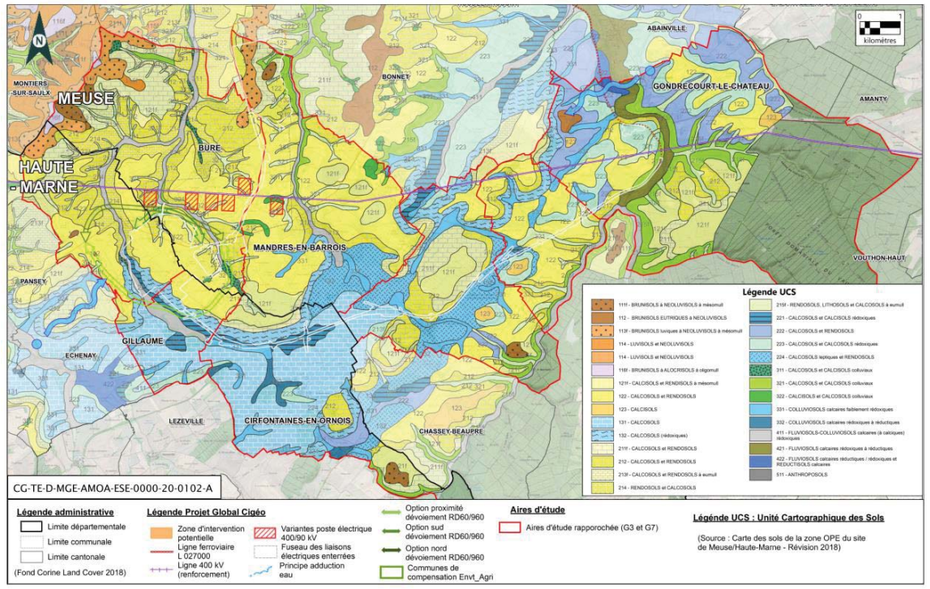


Figure 2.4-2 *Carte pédologique de la zone d'intervention potentielle (Extrait OPE 2018)*

2.4.2.1 Caractéristiques agro-pédologiques des sols agricoles des aires d'étude rapprochées

Le sols agricoles des aires d'étude rapprochées sont majoritairement composés sur des substrats calcaires durs du Portlandien/Oxfordien et en limite Sud-ouest sur des marnes et calcaires du Kimméridgien (cf. Tableau 2.4-3).

Plus de 70 % de la surface agricole de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo reposent sur des calcaires durs du Portlandien/Oxfordien et 23 % sur des marnes du et calcaire du Kimméridgien.

Tableau 2.4-3 *Répartition des sols agricoles des aires d'étude rapprochée*

Sous domaines géologiques (Sols agricoles)	Aires d'étude rapprochée			
	G3 (3 com.)		G7 (7 com.)	
	Surface (ha)	(%)	Surface (ha)	(%)
Alluvions des petites vallées	127	5	246	3
Bas de versant calcaire dur	26	1	26	0
Calcaires durs du Portlandien	815	35	1310	18

Sous domaines géologiques (Sols agricoles)	Aires d'étude rapprochée			
	G3 (3 com.)		G7 (7 com.)	
	Surface (ha)	(%)	Surface (ha)	(%)
Calcaires durs du Portlandien/Oxfordien	854	36	2458	33
Formations du Valanginien	45	2	65	1
Marnes et calcaires du Kimméridgien	337	14	2501	34
Vallons sur calcaire dur	126	5	341	5
Vallons sur marnes et calcaires du Kimméridgien	19	1	359	5
Alluvions des grandes vallées	0	0	55	1
Total	2 348	100	7 361	100

Ce contexte géologique confère aux sols des caractéristiques agronomiques spécifiques dont dépendent les niveaux de productions agricoles. Les calcaires durs du Portlandien regroupent en particulier les sols des plateaux calcaires et ceux sur des versants calcaires largement présents.

Parmi les principaux critères pédologiques étudiés (cf. Tableau 2.4-4) :

- la profondeur des sols est inférieure à 60 cm pour plus de 75 % de la surface agricole ;
- la teneur en matière organique est supérieure à 3,5 % pour plus de 85 % de la surface agricole ;
- la pierrosité de surface varie de 5 % à 30 % pour plus de 70 % de la surface agricole ;
- la réserve utile est inférieure à 120 mm pour plus de 75 % de la surface agricole.

Tableau 2.4-4 *Caractéristiques pédologiques des sols agricoles sur l'aire d'étude rapprochée*

Caractéristiques pédologique (Sols agricoles)	Aires d'étude rapprochée			
	3 communes (Gillaumé/Saudron, Bure)		7 communes	
	Surface (ha)	(%)	Surface (ha)	(%)
Profondeur des sol	2 348		7 361	
< 40 cm	351	15	398	5
40-60 cm	1603	68	5298	72
60-80 cm	148	6	781	11
80-100 cm	175	7	343	5
110-120 cm et +	72	3	541	7
Matière organique	2 348	100	7 361	100
1,8-3,5 %	3	0	23	0
3,5-8,0 %	2051	87	6160	84
8,0-12,0 %	167	7	930	13
12,0-15,0 % et +	127	5	247	3
Pierrosité	2 348	100	7 361	100
< 5 %	242	10	1298	18
5-15 %	285	12	1975	27

Caractéristiques pédologique (Sols agricoles)	Aires d'étude rapprochée			
	3 communes (Gillaumé/Saudron, Bure)		7 communes	
	Surface (ha)	(%)	Surface (ha)	(%)
Profondeur des sol	**2 348**		**7 361**	
15-30 %	1348	57	3382	46
30-50 %	471	20	656	9
> 50 %	2	0	49	1
Réserve utile en eau	**2 348**	**100**	**7 361**	**100**
< 40 mm	351	15	398	5
40-80 mm	1420	60	3743	51
80-120 mm	335	14	2424	33
120-160 mm	191	8	669	9
160-200 mm et +	51	2	126	2

Dans ces conditions agronomiques, ces sols plus ou moins superficiels et à faible réserve utile sont sensibles en période de sécheresse prolongée limitant fortement les niveaux de production (60 à 70 quintaux par hectare en culture de blé).

2.4.3 Assolement des terres labourables

Sur les aires d'étude rapprochées, l'assolement moyen observé des terres labourables de 2011 à 2015 (avant les travaux de diagnostic archéologique préventif sur la zone descenderie et l'ITE réalisés 2015/2016) se compose de 30 % à 35 % en culture de blé, 29 % à 38 % d'orge et de 21 % à 22 % en colza. Les autres cultures protéagineux, maïs grain, maïs fourrage et prairie artificielle cumulées couvrent moins de 13 % des terres arables (cf. Figure 2.4-3).

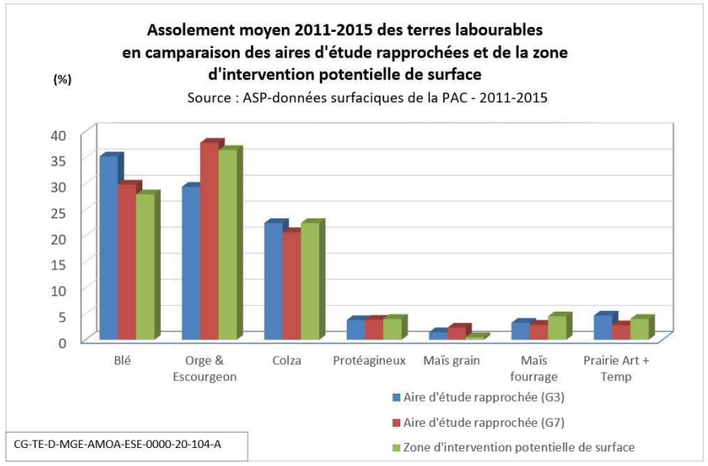


Figure 2.4-3 Assolement moyen 2011-2015 des terres labourables

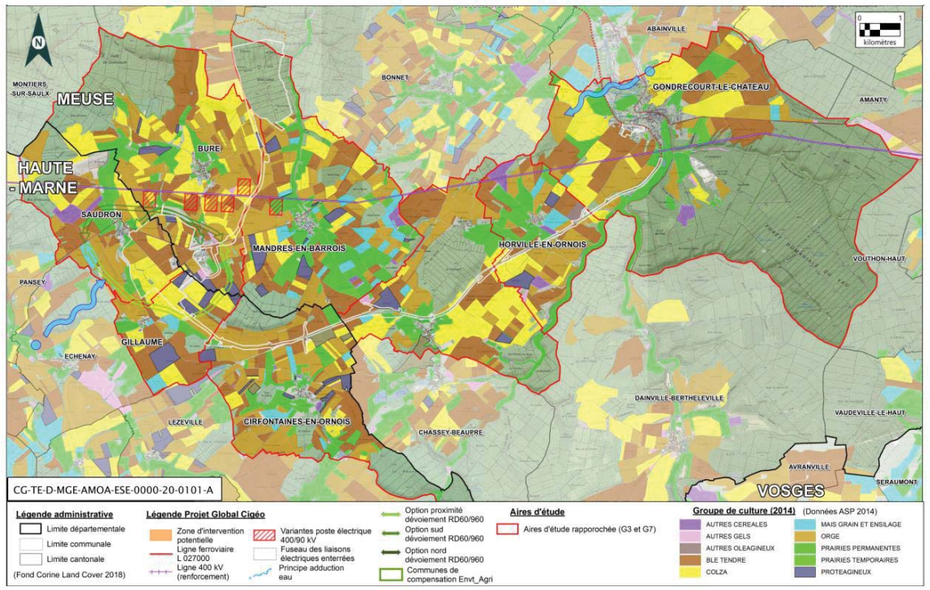


Figure 2.4-4 Répartition de l'assolement 2014 sur les aires d'étude agricole rapprochée

L'assolement moyen (2011-2015) des terres labourables des trois communes (G3) de l'aire d'étude rapprochée est représentatif de celui pratiqué sur les emprises de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo.

2.4.4 Le cheptel bovin et autres élevages

Au-delà de l'évolution des surfaces agricoles accompagnée par une diminution importante des surfaces de prairie permanente, l'élevage bovin a également subi de fortes restructurations avec une baisse significative du troupeau laitier. Le cheptel laitier ne représente plus que 35 % du cheptel bovin en 2016 sur l'aire d'étude rapprochée G7 alors qu'il atteint 53 % à l'échelle cantonale de l'aire d'étude éloignée et départementale (cf. Figure 2.4-5). La fin des quotas laitiers en 2015 a sensiblement limité la réduction des élevages laitiers.

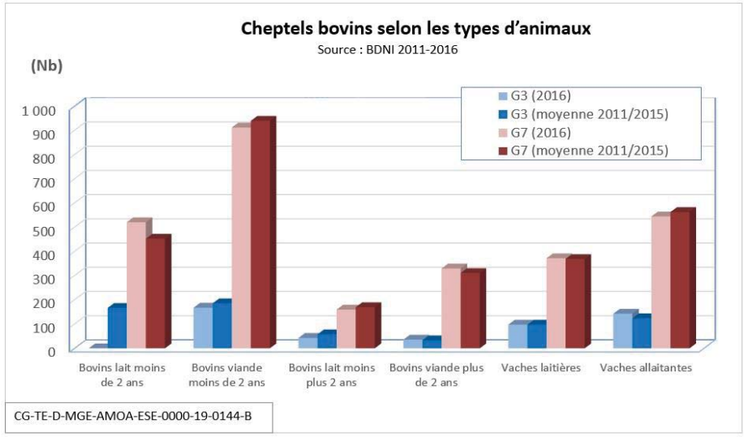


Figure 2.4-5 Cheptel bovin selon les types d'animaux

La densité de l'élevage bovin rapporté à la surface agricole est de seulement 26 bovins sur 100 ha dans l'aire d'étude rapprochée G3 et de 36 dans l'aire d'étude rapprochée G7. Cette densité est inférieure à celle observée à l'échelle cantonale de l'aire d'étude éloignée (39 bovins/100 ha) et de moitié à celle départementale (65 bovins/10 ha). Cet indicateur confirme un contexte agricole local à faible densité d'élevage bovin et une prédominance d'exploitation de grandes cultures.

Les autres élevages sont relativement absents sur le secteur. On dénombrait seulement 272 ovins primés en 2015 alors qu'ils étaient plus de 330 en 2010.

2.4.5 Productions SIQO

2.4.5.1 Productions fromagères

a) AOP Brie de Meaux

Sur les aires d'étude rapprochées, 5 communes sont dans le périmètre AOP Brie de Meaux et comptaient en 2018, 6 exploitations laitières en Brie de Meaux (cf. Tableau 2.4-5). 352 ha de la surface agricole (330 ha de culture et 21 ha de prairie) de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo est localisée dans le périmètre de l'AOP Brie de Meaux.

Tableau 2.4-5 Communes et producteurs laitiers dans le périmètre d'appellation AOP Brie de Meaux

ODG - 2018	Aires d'étude rapprochées			
	G3 (3 com.)		G7 (7 com.)	
	AOP	Nombre d'exploitations	AOP	Nombre d'exploitations
Bure	Oui	1	Oui	1
Saudron	Oui	1	Oui	1
Gillaumé	Oui	0	Oui	0
Mandres-en-Barrois			Oui	4
Cirfontaines-en-Ornois			Oui	0

ODG - 2018	Aires d'étude rapprochées			
	G3 (3 com.)		G7 (7 com.)	
	AOP	Nombre d'exploitations	AOP	Nombre d'exploitations
Horville-en-Ornois			Non	
Gondrecourt-le-Château			Non	
Total		2		6

b) IGP Emmental Français

Le périmètre de l'IGP Emmental Français couvrent les 3 communes de Haute-Marne de l'aire d'étude rapprochée (G7) et ne compte aucun producteur laitier pour cette production fromagère (cf. Tableau 2.4-6). 227 ha de la surface agricole (208 ha de culture et 19 ha de prairie) de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo est localisée dans le périmètre de l'IGP Emmental Français.

Tableau 2.4-6 Communes et producteurs laitiers dans le périmètre de l'IGP Emmental Français

ODG - 2018	Aires d'étude rapprochées			
	G3 (3 com.)		G7 (7 com.)	
	IGP	Nombre d'exploitations	IGP	Nombre d'exploitations
Bure	Non		Non	
Saudron	Oui	0	Oui	0
Gillaumé	Oui	0	Oui	0
Cirfontaines-en-Ornois			Oui	0
Mandres-en-Barrois			Non	
Horville-en-Ornois			Non	
Gondrecourt-le-Château			Non	
Total		0		0

2.4.5.2 Productions viticoles

Malgré une IGP Haute-Marne qui couvre les communes de Saudron, Gillaumé et Cirfontaines-en-Ornois, aucun vignoble n'y est recensé. Les parcelles viticoles les plus proche sont éloignées de plus de 40 km pour cet IGP et de 30 km pour l'AOC Côtes de Toul.

2.4.6 Usages agricoles de la ressource en eau

L'irrigation des cultures n'est pas pratiquée dans la région. Quelques parcelles drainées sont recensées dans l'aire d'étude rapprochée, par exemple dans la partie amont de la vallée de l'Orge, représentant moins de 3 % des surfaces agricoles.

Des captages dans les eaux souterraines peuvent servirent pour l'abreuvement du cheptel. En octobre 2019, sur la base Infoterre, sont recensées dans l'aire d'étude rapprochée : trois puits (2 à Bure et à 1 Mandres-en Barrois : 1), 2 forages (1 sur Bure et 1 sur Gondrecourt-le Château) et 3 sources (Gondrecourt-le Château, Horville-en-Ornois, Cirfontaines-en-Ornois). Une campagne de recensement des captages d'eau et de leur usage sera réalisée en 2020 afin de vérifier ces informations sur le terrain.

Tableau 2.4-7 Liste des ouvrages de la banque de données sur le sous-sol recensés pour un usage agricole indéfini (source Infoterre, octobre 2019)

Communes	Code BSS[27] nouveau>	Code BSS ancien	Profondeur (m)	Type d'ouvrage	Lieu-dit
Bure	BSS000UNAW	02654X0008		PUITS	EOLIENNE A MORVAL SUD
Bure	BSS000UNBX	02654X0033	29,8	FORAGE	EST 1207 - SECTION OA PARCELLE 15
Mandres-en-barrois	BSS000UNMZ	02658X1001	5,0	PUITS	LIEU-DIT VAUX DE BOEUF
Mandres-en-barrois	BSS000UNNJ	02658X1010		PUITS	PUITS DANS PATURE
Gondrecourt-le-Château	BSS000UNTC	02661X0020	141,0	FORAGE	FERME RUERE
Gondrecourt-le-Château	BSS000UNUV	02662X0019		SOURCE	VAUCHERON - ABREUVOIR
Horville-en-Ornois	BSS000UPCR	02665X0037		SOURCE	SOURCE DE LA FONTAINE
Cirfontaines-en-Ornois	BSS000UNLT	02658X0037		SOURCE	SOURCE DE LA SARTELLE

2.4.7 Activité et emploi agricole

Le nombre d'exploitants agricoles en activité a diminué de 42 % de 2010 à 2015 sur la zone G3 et de -35 % sur la zone G7 (cf. Tableau 2.4-8). 15 % des actifs ont un emploi dans le secteur agricole en 2015 alors qu'ils représentaient plus de 23 % en 2010 sur l'aire d'étude rapprochée G7. La part des actifs agricoles est nettement supérieure sur l'aire d'étude rapprochée G3 (27 % en 2015).

Tableau 2.4-8 Caractéristiques des actifs agricoles sur les aires d'étude rapprochées G3 et G7

Source : Insee-Recensements de population 2010, 2015	G3 (3 com.)			G7 (7 com.)		
	2010 (Nb)	2015 (Nb)	2015/2010 (%)	2010 (Nb)	2015 (Nb)	2015/2010 (%)
Actifs ayant un emploi (tous secteurs)	56	63	13	587	522	-11
Agriculteurs exploitants actifs de 15 ans à 64 ans	19	11	-42	79	51	-35

[27] Code BSS : la BSS (Banque de données du sous-sol) est la base nationale qui conserve toutes les données sur les ouvrages souterrains du territoire

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné

Source : Insee-Recensements de population 2010, 2015	G3 (3 com.)			G7 (7 com.)		
	2010 (Nb)	2015 (Nb)	2015/2010 (%)	2010 (Nb)	2015 (Nb)	2015/2010 (%)
Actifs femmes ayant un emploi secteur agricole	8	11	38	57	31	-46
Actifs hommes ayant un emploi secteur agricole	15	6	-60	80	46	-43
Total Actifs ayant un emploi secteur agricole	23	17	-26	137	77	-44
Fraction Actifs agricole/Actifs (tous secteurs)	41	27	-34	23	15	-37

Au cours de la période 2010-2015, l'emploi dans le secteur agricole a diminué de 40 % dans l'aire d'étude rapprochée G3 et plus de 45 % sur G7. Cette perte d'emploi est réduite à 13 % tous secteurs confondus sur G7 alors qu'une progression de 17 % est relevée sur l'aire d'étude rapprochée G3 (Activité du laboratoire de centre de Meuse Haute-Marne). Cette perte d'emploi est moins importante à celles observées à l'échelle cantonale (- 9 %) et départementale (-9 % en Haute-Marne et -2 % en Meuse).

La part de l'emploi agricole est en régression et ne représente plus que 11 % de l'emploi total en 2015 contre 17 % en 2010 sur la zone G7. Sur la zone G3 deux secteurs d'activités ont fortement progressé l'industrie et la construction. Toutefois à une échelle plus large sur la zone G7 cette évolution est nettement inférieure. Tous secteurs confondus, l'emploi a progressé de 17 % de 2010 à 2015 sur la zone G3 alors qu'il diminué de 13 % sur la zone G7 (cf. Tableau 2.4-9).

Tableau 2.4-9 Caractéristiques des emplois de la zone du projet global Cigéo

Source : Insee-Recensements de population 2010-2015	G3 (3 com.)			G7 (7 com.)		
	2010 (Nb)	2015 (Nb)	2015/2010 (%)	2010 (Nb)	2015 (Nb)	2015/2010 (%)
Emplois dans le secteur agricole	35	21	-40	147	81	-45
% Emplois secteur agricole	11	6	-48	17	11	-37
Emplois dans l'industrie	13	29	123	77	41	-47
Emplois dans la construction	10	38	280	30	54	80
Emplois dans le commerce-transports-services	227	256	13	395	392	-1
Emplois administration publique	8	0	-100	234	203	-13
Emploi tous secteurs	293	344	17	883	771	-13

2.4.8 Principales données agricoles communales

Les principales données statistiques issues du recensement général agricole de 1998, 2000 et 2010 à l'échelle communale confirme l'évolution de l'activité agricole avec un agrandissement des structures et une diminution du nombre d'exploitants accompagnée par une réduction de l'élevage bovin et des surfaces en herbe au profit des grandes cultures (cf. Tableau 2.4-10). L'interprétation de ces données à l'échelle communale reste cependant à relativiser car elles se rapportent aux exploitations ayant leur siège sur la zone considérée mais qui peuvent également exploiter des surfaces sur d'autres communes

Tableau 2.4-10 Données agricoles communales (RGA 1988, 2000 et 2010)

Recensement général agricole (1988, 2000 et 2010) (Localisation : les données se rapportent aux exploitations ayant leur siège sur la zone considérée.)			Cirfontaines-en-Ornois	Gillaumé	Saudron	Bure	Gondrecourt-le-Château	Horville-en-Ornois	Mandres-en-barrois
Surface totale		**ha**	1 396	517	914	1 842	5 142	761	1 772
Surface agricole	**2014**	**ha**	984	466	726	1280	2 279	686	1 289
Surface agricole/Surface totale	**2014**	**%**	70	90	79	69	44	90	73
Superficie agricole utilisée	**2010/2000**	**%**	-41	41	-27	-14	17	-6	15
	2010	**ha**	627	749	624	1 334	1 775	500	1 951
	2000	**ha**	885	443	791	1 515	1 477	529	1 668
	1988	**ha**	866	604	700	1 069	2 008	504	1 569
Exploitations agricoles ayant leur siège dans la commune	**2010/2000**	**%**	-50	33	-50	-17	-29	-50	-10
	2010	**ha**	6	3	4	12	14	6	10
	2000	**ha**	9	2	6	14	18	9	11
	1988	**ha**	16	4	8	14	31	9	16
Travail dans les exploitations agricoles en unité de travail annuel	**2010/2000**	**%**	-60	29	-30	-58	-1	-33	14
	2010	**ha**	5	7	10	12	18	6	21
	2000	**ha**	13	5	13	19	20	8	18
	1988	**ha**	22	11	15	22	36	13	30
Cheptel en unité de gros bétail, tous aliments	**2010/2000**	**%**	-95	42	-57	-68	-93	-78	1
	2010	**ha**	155	383	377	262	446	232	1 086
	2000	**ha**	302	222	592	440	861	413	1 080
	1988	**ha**	613	522	699	853	1 009	371	1 250
Superficie en terres labourables en hectare	**2010/2000**	**%**	-49	10	-24	-5	25	-11	19
	2010	**ha**	529	627	442	1 219	1 449	377	1 488
	2000	**ha**	790	563	550	1 274	1 088	418	1 206
	1988	**ha**	690	465	442	828	1 409	352	1 056
Superficie toujours en herbe	**2010/2000**	**%**	3	-6	-32	-110	-9	10	0
	2010	**ha**	98	122	182	115	325	122	463
	2000	**ha**	95	129	241	241	388	110	463
	1988	**ha**	175	138	258	240	596	151	512
Ration Terre labourable/SAU	**2010/2000**	**%**	-6	-52	2	8	10	-5	5
	2010	**%**	84	84	71	91	82	75	76
	2000	**%**	89	127	70	84	74	79	72
	1988	**%**	80	77	63	77	70	70	67

2.4.9 Activité agricole et zonage des espèces protégées

La désignation des espaces naturels protégés est une composante majeure des stratégies de protection et de gestion du patrimoine naturel. À ce titre, il existe en France différents outils de protection dont la diversité reflète la multiplicité des acteurs, des objectifs et des types de gestion. Deux types de zonages d'intérêts écologiques sont établis

- **Les zonages réglementaires :** zonages de sites au titre de la législation ou de la réglementation en vigueur dans lesquels l'implantation d'un projet peut être interdit ou contraint. Ce sont les arrêtés préfectoraux de protection de biotope, les réserves naturelles, les sites du réseau Natura 2000 (ZSC désignée au titre de la Directive Habitats/Faune/Flore).
- **Les zonages d'inventaires** : zonages qui n'ont pas de valeur d'opposabilité mais qui témoignent d'un patrimoine écologique à forte valeur patrimoniale et devant être pris en compte lors de l'élaboration de projets. Ce sont les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) à l'échelon national ou les Espaces Naturels Sensibles (ENS) à l'échelle du département.

Les surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo ne figurent pas dans l'un de ces périmètres pour lesquels des mesures spécifiques de protection de la biodiversité sont mises en œuvre dans le cadre de programme pluriannuel (cf. Figure 2.4-6).

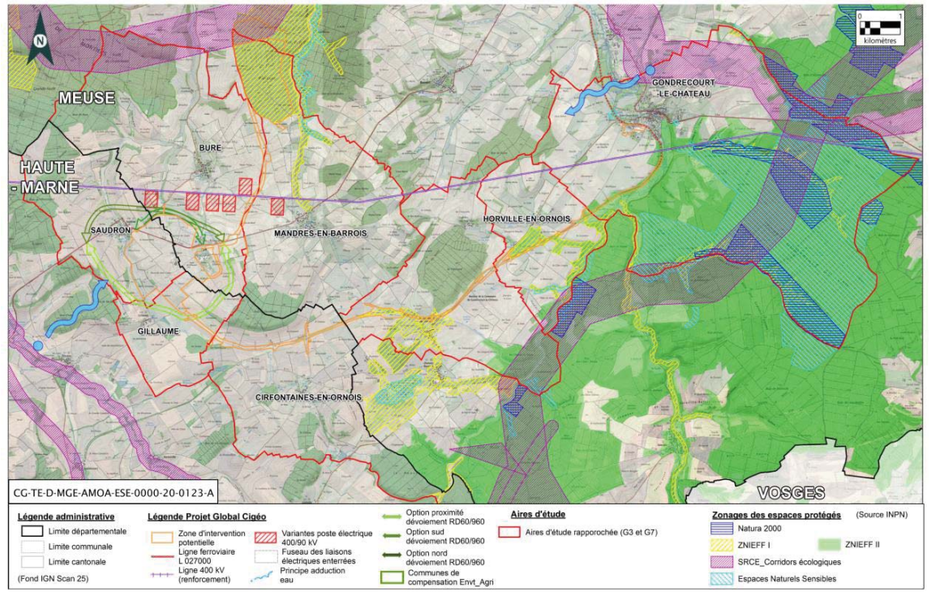


Figure 2.4-6 Zonage des espaces protégés sur l'aire d'étude agricole rapprochée

2.4.10 Activité agricole et zone vulnérable de la directive « nitrates »

La directive n° 91/676/CEE du 12 décembre 1991, dite directive « nitrates », vise à protéger les eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole (engrais chimiques, effluents d'élevage…).

Elle s'applique dans les zones dites vulnérables où les eaux superficielles ou souterraines sont atteintes par une pollution aux nitrates ou sont susceptibles de l'être.

Le 6e programme d'actions national (arrêté du 11 octobre 2016 et arrêté du 23 octobre 2013 modifiant l'arrêté du 19 décembre 2011) comporte huit mesures relatives à une bonne maîtrise des fertilisants azotés, à la couverture des sols et une mesure relative à une gestion adaptée des terres agricoles :

- mesure 1 : périodes minimales d'interdiction d'épandage ;
- mesure 2 : stockage des effluents d'élevage ;
- mesures 3 et 4 : équilibre de la fertilisation azotée et documents d'enregistrement ;
- mesure 5 : quantité maximale d'azote des effluents d'élevage épandue annuellement ;
- mesure 6 : conditions d'épandage des fertilisants azotés ;
- mesure 7 : couverture végétale des sols ;
- mesure 8 : couverture végétale permanente le long de certains cours d'eau et plans d'eau de plus de 10 ha.

Chaque département et chaque région ont procédé à la définition des zones dites vulnérables pour lesquelles s'appliquent ces mesures (cf. Figure 2.4-7). Toutes les emprises agricoles du centre de stockage Cigéo localisées dans le département de la Haute-Marne sont classées en zones vulnérables.

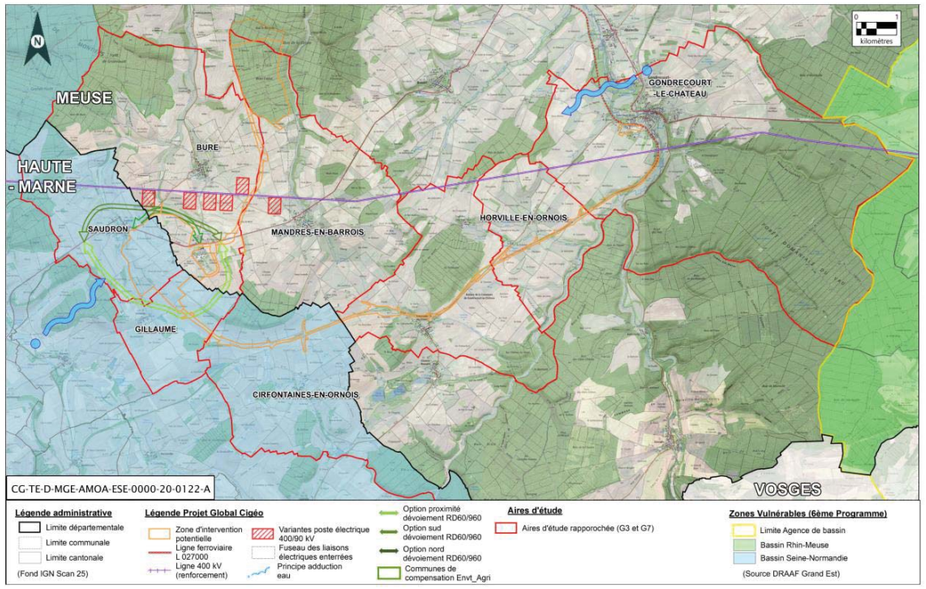


Figure 2.4-7 Zones vulnérables de la directive Nitrates sur la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo

Pour les exploitations agricoles concernées par ces emprises en zones vulnérables, la modification de leur parcellaire induira une reprise du **Plan Prévisionnel de Fumure** (PPF), du **Cahier d'Enregistrement des Pratiques** (CEP) et une vérification des possibilités pour l'exploitant de maintenir le bon respect de ces mesures.

2.4.11 Activité agricole et protection de captages d'eau potable

Le code de la santé publique impose la mise en place de périmètres de protection autour des ressources d'eau potable exploitées par des collectivités publiques. Ces périmètres visent à les protéger contre les risques de contaminations ponctuelles et accidentelles pouvant survenir dans l'environnement proche des captages. Cette action contribue fortement à améliorer de manière pérenne et significative la sécurité sanitaire des eaux distribuées au robinet des consommateurs et notamment la qualité microbiologique.

3 types de périmètres de protection sont définis :

- un périmètre de protection immédiate ;
- un périmètre de protection rapprochée ;
- un périmètre de protection éloignée.

Sur l'emprise des périmètres, des prescriptions, rendues opposables par un arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique, interdisent ou réglementent les activités qui pourraient nuire à la qualité des eaux captées. Sur l'aire d'étude rapprochée plusieurs périmètres sont définis :

- protection de captage d'Horville (rapprochée et éloignée ; prescription en cours) ;
- protection de captage d'Échenay (rapprochée été éloignée prescriptions définies) ;
- protection de captage de Rupt-aux-Nonains (éloignée sans prescription).

Pour les périmètres de protection de captage d'Échenay, plusieurs prescriptions agricoles sont applicables aux emprises concernées du centre de stockage Cigéo (principalement sur l'installation terminale embranchée). Elles sont de nature à contrôler et limiter le stockage et l'épandage d'effluent d'élevage, d'engrais organique ou chimiques, de produits phytosanitaires, le pacage d'animaux.

Pour compléter les dispositifs de protection de ce captage, un périmètre dit étendu a été défini en 2018 afin d'accompagner les exploitants agricoles à modifier leurs pratiques culturales dans le cadre de mesures incitatives et d'engagements quinquennaux. Ce périmètre couvre l'installation terminale embranchée sur les communes de Gillaumé et de Cirfontaines-en-Ornois, soit une surface agricole de 32 ha pour l'ITE :

- absence de fertilisation azotée ;
- gestion extensive des prairies ;
- création et maintien d'un couvert herbacé ;
- création et maintien d'un couvert herbacé et absence fertilisation azotée ;
- réduction progressive du nombre de doses homologuées herbicides + 2 bilans ;
- réduction progressive du nombre de doses homologuées herbicides et hors herbicides + 2 bilans.

Compte-tenu de la durée d'engagement de 5 ans, ces mesures ne peuvent être contractualisées sur les parcelles agricoles concernées dont la destination pourrait être modifiée avant la fin du contrat.

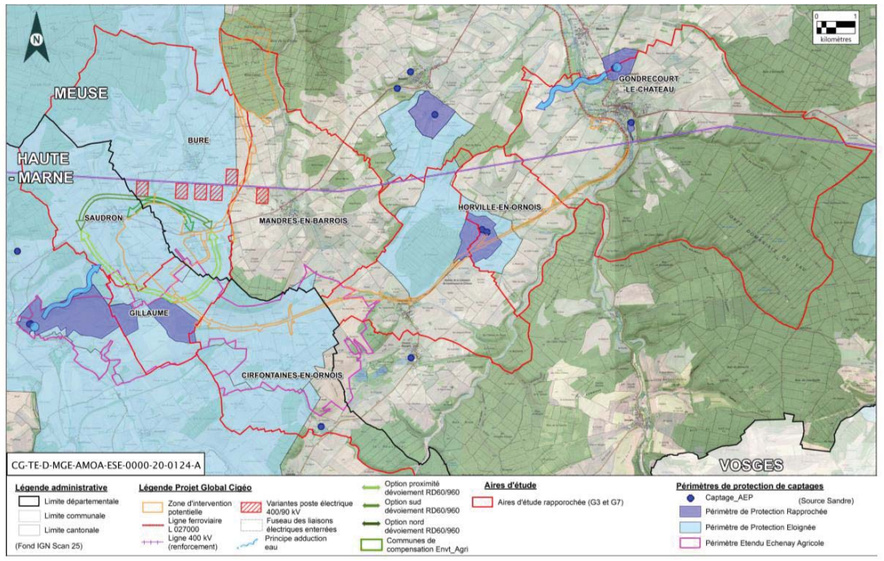


Figure 2.4-8 Périmètres de protection de captage sur les aires d'étude agricole rapprochées du centre de stockage Cigéo

Les surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle au sein du périmètre étendu du captage d'Échenay faisant l'objet de mesures d'accompagnement de changement des pratiques agricoles pour protéger de la qualité de l'eau n'ont pas été engagées car déjà acquises par l'Andra et la SAFER à l'exception des surfaces dans la marge d'incertitude de la zone d'intervention potentielle.

2.5 État initial pour les autres opérations du projet global Cigéo

Certaines opérations du projet global Cigéo nécessitent des aménagements sur des surfaces agricoles au-delà des emprises du centre de stockage Cigéo. Ces aménagements nécessiteront des interventions de différentes ampleurs :

- l'alimentation électrique par un raccordement sur la ligne existante 400 kV Houdreville/Mery ;
  - ✓ renforcement des fondations et des structures métalliques de plusieurs pylônes électriques et liaison optique souterraine installée entre le support n° 79 de la ligne Houdreville-Méry et le support n° 262 de la ligne Creney-Revigny ;
  - ✓ aménagement d'un poste de transformation 400/90 kV raccordé sur la ligne 400 kV Houdreville-Mery ;
- la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château ;
  - ✓ réhabilitation de l'ancienne voie ferrée et aménagements des rétablissements ;
- déviation de la route départementale D60/960 à hauteur de la zone descenderie ;
  - ✓ dévoiement d'une infrastructure routière ;
- l'adduction d'eau potable depuis les captages de Thonnance-les-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-Le-Château ;
  - ✓ canalisations enterrées avec quelques surpresseurs ;

- des opérations de caractérisation et de surveillance environnementale ;
  - ✓ aménagements de plateformes de forages ;
- des sites de compensation environnementale des milieux ouverts ;
  - ✓ mesures compensatoires sur des surfaces agricoles.

2.5.1 Raccordement sur la ligne électrique existante 400 kV Houdreville/Mery

2.5.1.1 Renforcement de la ligne existante 400 kV Houdreville/Mery

Cette ligne électrique est supportée par 235 pylônes répartis sur un linéaire de 130 km de la commune de Balignicourt (Aube) jusqu'au poste d'Houdreville (Meurthe-et-Moselle). L'emprise au sol de chaque pylône est de 120 m² environ. La ligne 400 kV traverse de vastes étendues agricoles de grandes cultures et de prairies (cf. Figure 2.5-1).

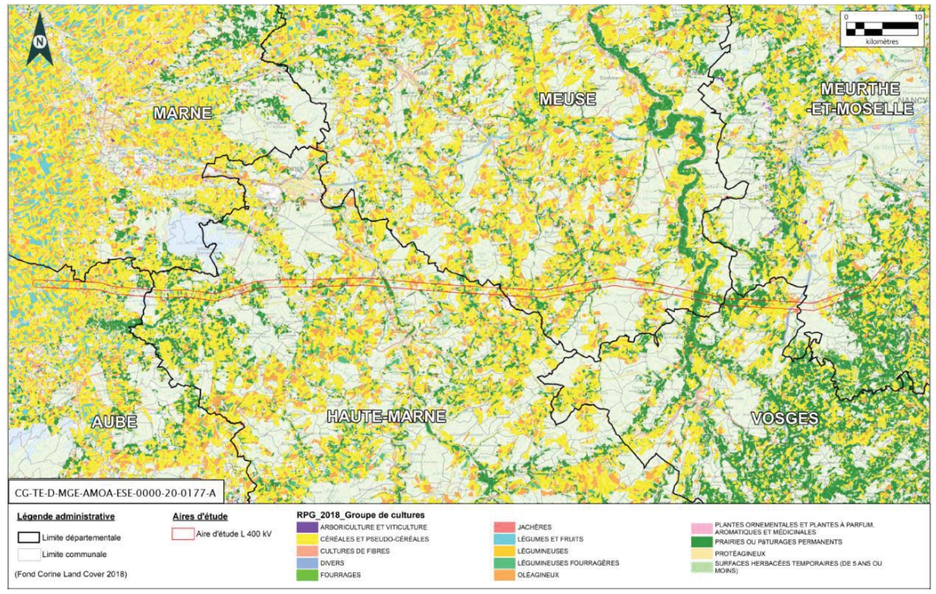


Figure 2.5-1 Occupation des sols agricoles sur l'aire d'étude de ligne électrique 400 kV

176 pylônes (74 %) sont localisés sur des surfaces agricoles composées principalement de parcelles en système de grandes cultures (80 %) et de prairie (20 %) (Tableau 2.5-1). Aucun verger ou vignoble en appellation n'est traversé par cette ligne électrique. La distance moyenne qui sépare la limite des parcelles agricoles aux pieds des pylônes est de 113 m.

Tableau 2.5-1 Situation agricole des pylônes de la ligne électrique 400 kV de Balignicourt (dép.10) à Houdreville (dép.54)

Situation agricole des pylônes de la ligne 400 kV de Balignicourt (10) à Houdreville (54)							
Communes (d'ouest en est)	Dép.	Nbre total pylônes	Nbre pylônes grandes cultures	Nbre Pylônes prairie	Nbre pylônes Zone Vulnérable	Nbre pylônes Natura 2000	Nbre pylônes en SIQO
Balignicourt	10	3	2		2		3
Saint-Léger-sous-Margerie	10	4	4		4		4
Pars-les-Chavanges	10	1	1		1		1
Chavanges	10	16	15	1	16		16
Lentilles	52	2					2
Bailly-le-franc	52	2					2
Puellemontier	52	1					1
Droyes	52	11	7	3	10		11
Montier-en-der	52	5	3	1	4		5
Planrupt	52	5	5		5		5
Frampas	52	7	4		4		7
Voillecomte	52	5	1	3	4		5
Wassy	52	11	4	1	5		11
Attancourt	52	4	4		4		4
Troisfontaines-la-ville	52	6	5		5		6
Magneux	52	5	5		5		5
Sommancourt	52	2	2		2		2
Rachecourt-sur-marne	52	6	4		4		6
Chevillon	52	5	2		2		5
Curel	52	1	1		1		1
Osne-le-val	52	8	7		7		8
Paroy-sur-Saulx	52	4	4		4		4
Effincourt	52	5	4		4		5
Saudron	52	5	2		2		5
Bure	55	7	7				7
Mandres-en-barrois	55	8	7	1			8
Bonnet	55	1					1
Gondrecourt-le-Château	55	20	9	2			20
Horville-en-Ornois	55	3	3				3
Amanty	55	2	2		2		2

Situation agricole des pylônes de la ligne 400 kV de Balignicourt (10) à Houdreville (54)							
Communes (d'ouest en est)	Dép.	Nbre total pylônes	Nbre pylônes grandes cultures	Nbre Pylônes prairie	Nbre pylônes Zone Vulnérable	Nbre pylônes Natura 2000	Nbre pylônes en SIQO
Vouthon-bas	55	4	1	1	2		4
Taillancourt	55	4	1		1		4
Goussaincourt	55	6	3	1	4	FR4112008	6
Brixey-aux-chanoines	55	4	1	2	3	FR4112008	4
Sauvigny	55	3	1	2	3		3
Clerey-la-cote	88	2		2	2		2
Ruppes	88	3	2	1	3		3
Punerot	88	7	2	4	6		7
Autreville	88	1	1		1		1
Harmonville	88	5	4		4		5
Favières	54	8	1	1	2		8
Saulxerotte	54	5	1		1		5
Laloeuf	54	3	1	2			3
Dolcourt	54	1	1		1		1
Goviller	54	4	3	1			4
Vitrey	54	5	4	1			5
Hammeville	54	1	1				1
Parey-Saint-Cesaire	54	2		2			2
Houdreville	54	2		2	2		2

Plusieurs pylônes implantés sur des surfaces agricoles sont recensés dans différents types de zonages :

- **Zone vulnérable de la directive « nitrates » :**

  130 pylônes sont directement concernés sur 35 communes. L'aménagement d'accès temporaires à ces pylônes pour les travaux de renforcement de la ligne peuvent nécessiter une modification provisoire des plans de fumure et des plans d'épandage. Si modifications de ces documents et de des pratiques agricoles, elles resteront très limitées compte-tenu des faibles surfaces mobilisées (accès moyen 113 m × 6 m de largeur = 678 m²). Si tous les pylônes agricoles devaient faire l'objet de ces travaux, la surface concernée serait de 11,9 ha environ.

- **Zone Natura 2000 :**

  Parmi les zonages de protection de la biodiversité, les zones Natura 2000 s'accompagnent d'un document d'objectif qui définit l'état des lieux et préconise des mesures de gestion pour la conservation et/ou la restauration des habitats et espèces d'intérêt communautaire. Certaines mesures peuvent amener à des modifications des pratiques agricoles. Sur le tracé de la ligne 400 kV de Balignicourt (dép.10) à Houdreville, une zone Natura 200 (FR4112008 : vallée de la Meuse) est traversée sur les communes de Goussaincourt et de Brixey-aux-Chanoines (dép.55). En cas d'intervention sur les 3 pylônes concernés de ces communes, elle devra préalablement faire l'objet

d'une vérification de ces incidences sur le respect des mesures agricoles afin de les éviter et/ou de les réduire.

- **Aires d'appellation de productions agricoles sous SIQO.**

  La ligne électrique 400 kV de Balignicourt (dép.10) à Houdreville (dép.54) traverse 6 aires d'appellation directement associées à des productions agricoles :

  - ✓ AOC Brie de Meaux sur un linéaire de 72 km (139 pylônes) :
    - de Balignicourt (dép.10) à Bonnet (dép.55) ;
  - ✓ IGP Emmental Français Est-Central sur un linéaire de 60 km (114 pylônes) :
    - 50 km de Puellemontier (dép.52) à Saudron (dép.52) ;
    - 10 km de Clerey-la-Cote (dép.88) à Harmonville (dép.88) ;
  - ✓ AOC Munster sur un linéaire de 7 km (12 pylônes) :
    - de Clerey-la-Cote (dép.88) à Punerot (dép.88) ;
  - ✓ IGP Haute-Marne Vin mousseux, primeur et tranquille sur un linéaire de 50 km (96 pylônes) :
    - de Puellemontier (dép.52) à Saudron (dép.52) ;
  - ✓ AOC/IG Mirabelle de Lorraine sur un linéaire de 26 km (11 pylônes) :
    - de Clerey-la-Cote (dép.88) à Houdreville (dép.54) ;
  - ✓ IGP Volailles de la Champagne sur un linéaire de 30 km (62 pylônes) :
    - de Puellemontier (dép.52) à Troisfontaines-la-Ville (dép.52).

Pour ces productions agricoles sous SIQO, les enjeux liés aux interventions de renforcement de la ligne électrique sont très faibles car elles ne vont pas impacter directement les aires d'appellation ni remettre en cause le potentiel et l'image des productions à proximité immédiate des pylônes.

Une liaison optique souterraine sera également installée entre le support n° 79 de la ligne Houdreville-Méry et le support n° 262 de la ligne Creney-Revigny soit sur une longueur d'environ 600 mètres qui traverse plusieurs parcelles agricoles.

Tableau 2.5-2 Situation agricole des pylônes de la ligne 400 kV de Balignicourt (dép.10) à Houdreville (dép.54)

Situation agricole de la liaison optique souterraine entre le support n° 79 de la ligne Houdreville-Méry et le support n°262 de la ligne Creney-Revigny							
Commune	Dép.	Linéaire total (m)	Linéaire grandes cultures	Linéaire prairie	Linéaire Zone Vulnérable	Nbre pylônes Natura 2000	SIQO
Balignicourt	10	600	600	0	600	NC	1

NC : non concerné

Cette liaison optique souterraine traverse des parcelles agricoles de grandes cultures en zone vulnérable et dans l'aire d'appellation Brie de Meaux.

La nature et la durée de l'intervention sont très limitées et ne devraient pas représenter un enjeu agricole.

2.5.1.2 Aménagement d'un poste de transformation 400/90 kV

L'opération, notamment les implantations du poste de transformation 400/90 kV et des réseaux enterrés associés, fait l'objet d'une concertation préalable, en complément des concertations déjà réalisées conformément à la circulaire relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité du 9 septembre 2002 dite « circulaire Fontaine ». 6 scénarios d'implantation du poste de transformation 400/90 kV ont été étudiés (5 sur la commune de Bure et 1 sur la commune de Mandres-en-Barrois). Parmi ces scénarios, les enjeux agricoles sont liés aux emprises agricoles de (4,4

ha à 6 ha) et plus principalement à celles de prairie dont peut dépendre la production laitière pour l'AOC Brie de Meaux. Aucune des implantations étudiées n'est concernée par des zonages de type Natura 2000 ou directive nitrates.

La surface agricole retenue pour la compensation est de 6 ha.

2.5.2 Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000

La ligne ferroviaire 027000 était utilisée pour le transport de fret de la gare de Nançois-Tronville jusqu'à Gondrecourt-le-Château. Elle est fermée depuis 2014 (sauf sa partie nord, partiellement rouverte à la circulation entre Nançois-Tronville et les silos de Ligny-en-Barrois). Ce tronçon, partiellement réhabilité, est lui aussi fermé à la circulation depuis décembre 2019.

Cette ligne, d'une longueur de 36 km, est intégralement située dans le département de la Meuse et traverse 17 communes. Sa mise à niveau consistera d'une part à une reprise intégrale des infrastructures de la voie ferrée et d'autre part au réaménagement des ouvrages pour la traversée des réseaux hydrauliques (canal), du réseau routier et des dessertes agricoles.

Situées sur les anciens cantons de Gondrecourt-le-Château et de Ligny-en-Barrois, ces travaux de mise à niveau nécessitent des espaces de chantier et des emprises foncières pour l'aménagement de certains rétablissements. Actuellement les rétablissements recensés sur ce tronçon sont de 4 types :

- 29 passages à niveau pour chemin ;
- 22 Passages à niveau pour route ;
- 4 ponts route ;
- 18 ponts rail.

L'aire d'étude pour cette évaluation des enjeux agricoles a été établie à partir d'emprises définies sur la base de zones tampons de 15 m de part et d'autre du linéaire de la voie ferrée soit un fuseau d'une largeur totale de 30 m et d'un rayon de 50 m autour des rétablissements.

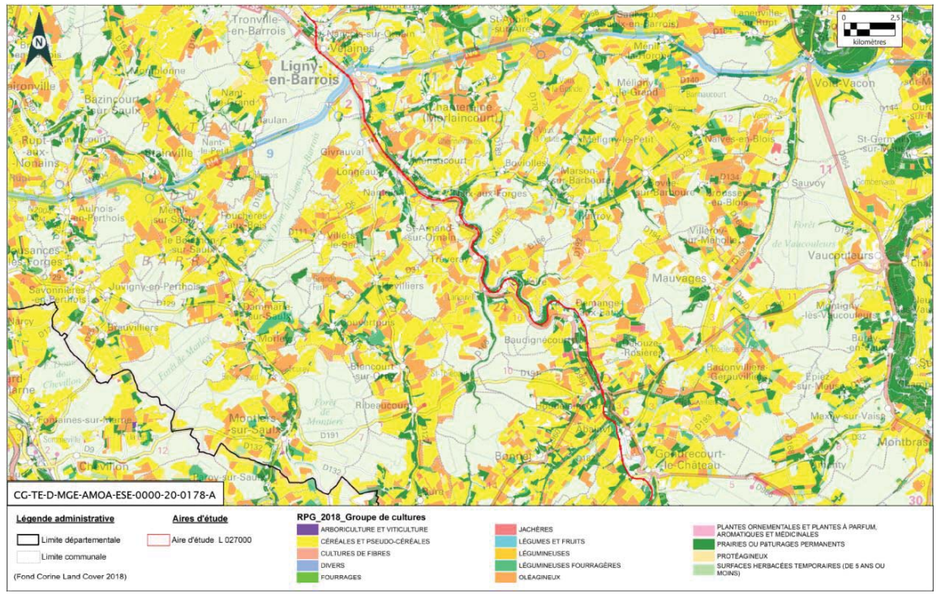


Figure 2.5-2 Occupation des sols agricoles sur l'aire d'étude de la ligne ferroviaire L 027000 (déclaration PAC 2018-ASP)

Les surfaces agricoles de cette aire d'étude couvrent 19 ha dont 43 % de terre labourable et 57 % de prairies. Ces surfaces sont réparties sur plus de 50 exploitations.

Les surfaces agricoles du fuseau d'étude recoupent plusieurs zonages :

- Zone vulnérable de la directive nitrates :

  Parmi les 17 communes traversées par la ligne ferroviaire 027000, 9 d'entre elles du nord au sud de Tronville en-Barrois à Naix-aux-Forges sont classées en zone vulnérable de la Directive Nitrates. Les aménagements de la voie ferrée et les rétablissements peuvent réduire et modifier le parcellaire agricole pour lequel des obligations réglementaires de plans de fumure et de plans d'épandage peuvent être directement concernées. Si des modifications du parcellaire devaient être confirmées, elles resteraient relativement limitées compte-tenu des surfaces potentiellement mobilisables (de l'ordre de 9 ha).

- Zone Natura 2000 :

  Les surfaces agricoles ne couvrent aucune zone Natura 2000 malgré leur proximité à celle du Bois de Demange, Saint-Joire FR4100180 mais qui est cantonnée aux espaces boisés.

- Aires d'appellation de productions agricoles sous SIQO.

  La ligne ferroviaire 027000 de la gare de Nançois-Tronville jusqu'à Gondrecourt-le-Château traverse 1 aire d'appellation est directement associée à des productions agricoles :

  ✓ AOC Brie de Meaux sur une surface agricole de 11,5 ha dont 6,6 ha en prairie :

  - de Tronville-en-Barrois à Saint-Joire.

  Pour ces surfaces agricoles sous SIQO, les enjeux liés aux interventions de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 sont plus importants pour les productions sous AOC Brie dont la ressource en fourrage qui repose majoritairement sur les surfaces en herbes pourrait être réduite. Sur les 12 communes en AOC Brie de Meaux 2 exploitations laitières sont potentiellement concernées à Menaucourt et Saint-Joire.

Globalement, les travaux de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 nécessitent des emprises agricoles réparties le long du linéaire d'une surface d'environ 9 hectares.

2.5.3 Déviation de la route départementale D60/960

Les études de conception du centre de stockage Cigéo montrent la nécessité de dévier localement la route départementale D60/960 pour déployer les installations de la zone descenderie sur une emprise continue. La déviation modifie le tracé de la route départementale D60/960 sur le tronçon compris entre Pansey et Mandres-en-Barois.

Trois options sont en cours d'études par le Conseil départemental de la Haute-Marne :

- une option Sud qui passerait entre la zone descenderie et Gillaumé ;
- une option Nord qui contournerait Saudron ;
- une option de proximité qui longerait la limite nord de la zone descenderie.

Elles sont élaborées de façon à éviter les zones les plus sensibles et réduire les incidences environnementales ne pouvant être évitées. Après participation du public à l'élaboration du projet, la solution retenue fera l'objet d'un approfondissement des études techniques et environnementales.

Afin d'évaluer les enjeux agricoles de chacun de ces scénarios, un fuseau d'emprise de 20 m de largeur nécessaire à ces aménagements a été étudié (cf. Tableau 2.5-3, Tableau 2.5-4, Tableau 2.5-5).

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné

Tableau 2.5-3 *Situation agricole du fuseau d'étude du dévoiement de la route départementale D60/960 : option SUD*

Situation agricole du dévoiement route départementale D60/960 : option sud (fuseau de 20 m de largeur)								
Communes	Dép.	Surface totale (ha)	Surface Agricole (ha)	Surface grande culture (ha)	Surface prairie (ha)	Surface Zone Vulnérable (ha)	Surface Natura 2000 (ha)	SIQO (ha)
Bure	55	2,2	1,0	1,0			NC	1
Gillaume	52	4,1	4,5	4,5		4,5	NC	4,5
Saudron	52	3,7	3,5	3,1	0,4	3,5	NC	3,1
Total		**10,0**	**9,0**	**8,6**	**0,4**	**8,0**	**NC**	**8,6**

NC : non concerné

Tableau 2.5-4 *Situation agricole du fuseau d'étude du dévoiement de la route départementale D60/960 : option NORD*

Situation agricole du dévoiement route départementale D60/960 : Option nord (fuseau de 20 m de largeur)								
Communes	Dép.	Surface totale (ha)	Surface Agricole (ha)	Surface grande culture (ha)	Surface prairie (ha)	Surface Zone Vulnérable (ha)	Surface Natura 2000 (ha)	SIQO (ha)
Bure	55	4,5	2,6	2,5	0,1		NC	2,6
Saudron	52	4,2	4,1	2,4	1,7	4,1	NC	4,1
Total		**8,7**	**6,7**	**4,9**	**1,8**	**4,1**	**NC**	**6,7**

NC : Non concerné

Tableau 2.5-5 *Situation agricole du fuseau d'étude du dévoiement de la route départementale D60/960 : option PROXIMITE*

Situation agricole du dévoiement route départementale D60/960 : Option proximité (fuseau de 20 m de largeur)								
Communes	Dép.	Surface totale (ha)	Surface Agricole (ha)	Surface grande culture (ha)	Surface prairie (ha)	Surface Zone Vulnérable (ha)	Surface Natura 2000 (ha)	SIQO (ha)
Bure	55	3,1	1,6	1,6	0,0		NC	1,6
Saudron	52	1,0	1,0	0,8	0,2	1,0	NC	1,0

Situation agricole du dévoiement route départementale D60/960 : Option proximité (fuseau de 20 m de largeur)								
Communes	Dép.	Surface totale (ha)	Surface Agricole (ha)	Surface grande culture (ha)	Surface prairie (ha)	Surface Zone Vulnérable (ha)	Surface Natura 2000 (ha)	SIQO (ha)
Total		4,1	2,6	2,4	0,2	1,0	NC	2,6

NC : Non concerné

- **Le fuseau correspondant au scénario de l'option Sud** génère le plus d'emprises agricoles avec une surface d'environ 9 ha dont 0,4 ha de prairie et 8 ha en zone vulnérable de la Directive Nitrates. Le périmètre de l'appellation AOC Brie de Meaux couvre toute son emprise agricole (9 ha) et celle de l'IGP Emmental français Est-Central sa partie Haut-Marnaise (8 ha). Sur ce fuseau, 11 exploitations sont recensées soit une surface moyenne d'emprise de 0,8 ha par exploitation.
- **Le fuseau correspondant au scénario de l'option Nord** génère moins d'emprises agricoles avec une surface d'environ 6,7 ha mais davantage de surface de prairie avec 1,8 ha. 4,1 ha sont en zone vulnérable de la Directive Nitrates Le périmètre de l'appellation AOC Brie de Meaux couvre toute son emprise agricole (6,7 ha) et celle de l'IGP Emmental français Est-Central sa partie Haut-Marnaise (4,1 ha). Sur ce fuseau, 11 exploitations sont recensées soit une surface moyenne d'emprise de 0,6 ha par exploitation.
- **Le fuseau correspondant au scénario de l'option proximité** limite les emprises agricoles à 2,6 ha et seulement 0,2 ha de prairie. Les surfaces agricoles en zone vulnérable de la Directive Nitrate sont limitées à 1 ha. Le périmètre de l'appellation AOC Brie de Meaux couvre toute son emprise agricole (2,6 ha) et celle de l'IGP Emmental français Est-Central sa partie Haut-Marnaise (1 ha). Sur ce fuseau, 4 exploitations sont recensées soit une surface moyenne d'emprise de 0,65 ha par exploitation.

La surface agricole susceptible d'être aménagée pour le rétablissement de la route départementale D60/960 s'établit à 9 hectares.

2.5.4 Adduction d'eau potable

Les alimentations en eau potable sont envisagées conjointement depuis les sources et forages suivants :

- Gondrecourt-le-Château géré par le syndicat intercommunal à vocation unique (SIVU) du Haut Ornain ;
- Échenay géré par le syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable (SIAEP) de la région d'Échenay ;
- Thonnance-les-Joinville géré par le SIAEP de Thonnance-les-Joinville/Suzannecourt.

Les travaux de raccordement du centre de stockage Cigéo à ces réseaux sont conçus de manière à restructurer les réseaux et améliorer la distribution locale de façon à la sécuriser. Ces travaux seront principalement réalisés le long des infrastructures existantes et seront majoritairement enterrés.

a. Compte tenu de l'environnement rural, les travaux pourraient concerner une surface agricole, toutefois très limitée :

La surface agricole susceptible d'être aménagée s'établit à environ 1 hectare.

2.5.5 Opérations de caractérisation et de surveillance environnementale

Parmi ces opérations de caractérisation et de surveillance environnementale :

- 4 plateformes de forages d'une surface unitaire de 2 500 m² devraient être installées avec des aménagements permanents sur une emprise définitive de 1 500 m². Ces plateformes sont localisées à la périphérie de la zone d'implantation des ouvrages souterrain et sur des emprises agricoles. Les emprises foncières agricoles cumulées de ces 4 plateformes de forages s'élèvent à 1 ha environ et ne concernent que des surfaces de grandes cultures. Les enjeux agricoles de ces plateformes sont relativement faibles de par leur faible surface d'emprise et ce malgré leurs localisations en zone d'appellation Brie de Meaux. Aucune de ces plateformes n'est située en zone vulnérable de la Directive nitrates ou sur une zone Natura 2000.
- D'autres forages de surveillance de l'environnement qui ne sont pas encore tous spatialisés. Ces forages ne nécessiteront que de petites surfaces et/ou des occupations temporaires. La surface maximale est estimée à environ 1 hectare.

C'est donc au total 2 ha de terres agricoles qui seront mobilisés pour les opérations de caractérisation et de surveillance environnementale.

2.5.6 Sites de compensation environnementale des milieux ouverts

Pour la mise en œuvre des mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts, des surfaces agricoles ont été identifiées afin d'y adapter les pratiques agricoles pour favoriser la biodiversité (cf. Annexe 1 et Annexe 2). Ce foncier devant appartenir à l'Andra pour assurer la pérennité des mesures fera l'objet de baux ruraux environnementaux au bénéfice d'exploitants agricoles. L'évolution des pratiques agricoles sur ces sites peuvent représenter différents niveaux d'enjeux en fonction de leur état initial et des mesures associées (cf. Tableau 2.5-6 et Tableau 2.5-7).

Tableau 2.5-6 Situation agricole des sites de compensation environnementale des milieux prairiaux

Situation agricole des sites de compensation environnementale des milieux prairiaux							
Sites	Dép.	État initial	Surface Agricole (ha)	Mode d'exploitation	Surface Zone Vulnérable (ha)	Surface Natura 2000 (ha)	SIQO (ha)
Morley-Couvertpuis	55	Prairie	20,2	AR	20,2	NC	20,2
Gondrecourt-le-Château	55	Prairie	1,5	AR	NC	NC	1,5
Lamorville	55	Friche/Pelouse	23,3	Dernière récolte 2006	23,3	NC	

AR : Agriculture raisonnée, NC : Non concerné

Tableau 2.5-7 Situation agricole des sites de compensation environnementale des milieux cultivés

Situation agricole des sites de compensation environnementale des milieux prairiaux							
Sites	Dép.	État initial	Surface Agricole (ha)	Mode d'exploitation	Zone vulnérable (ha)	Surface Natura 2000 (ha)	SIQO (ha)
Bertheléville 1	55	Grandes cultures	8,2	AR	NC		8,2

Situation agricole des sites de compensation environnementale des milieux prairiaux

Sites	Dép.	État initial	Surface Agricole (ha)	Mode d'exploitation	Zone vulnérable (ha)	Surface Natura 2000 (ha)	SIQO (ha)
Bertheléville 2	55	Grandes cultures	36,2	AR	NC		36,2
Gondrecourt-le-Château	55	Grandes cultures	13,4	AR	NC	FR4100182	13,4
Thonnance-les-moulins	52	Grandes cultures	22,0	AR	22,0		22,0
Cirfontaines-en-Ornois	52	Grandes cultures	5,8	AR	5,8		5,8
Horville-en-Ornois	55	Grandes cultures	6,7	AR	NC		6,8
Lamorville	55	Friche/pelouse	28,9	Dernière récolte 2006	28,9		28,9

AR : Agriculture raisonnée

Les enjeux agricoles des surfaces de compensation environnementale des milieux ouverts (27,6 ha à Saudron) sur la zone descenderie ont été associés à ceux des emprises du centre de stockage Cigéo car compris dans le périmètre de la zone d'intervention potentielle des installations de surfaces. Ces surfaces de compensation environnementale sur la zone descenderie ne seront pas aménagées et permettront de maintenir un usage agricole selon un cahier des charges spécifiques.

- **Le site de Lamorville (dép.55)** d'une surface totale de 57,2 ha n'est plus exploité depuis 2006. Bien que situé en zone vulnérable, les mesures compensatoires envisagées ne sont pas incompatibles avec la réglementation de la Directive Nitrates. Ce site ne fait pas l'objet d'une zone Natura 2000. Il est couvert par deux appellations SIQO, la première pour l'IGP pour la production de Mirabelle de Lorraine (Fruit à Noyau) et la seconde pour l'IGP Bergamotes de Nancy indépendamment de toute production agricole.
- **Les sites de Gondrecourt-le-Château, de Bertheléville et Horville-en-Ornois (dép.55)** représentent principalement des surfaces de grandes cultures (64,5 ha) et dans une moindre proportion de prairie (1,5). Ils sont hors zone vulnérable de la Directive Nitrates et de tout zonage Natura 2000 à l'exception de la FR4100182 - Forêts de Gondrecourt-le-Château (Docob sur forêt). Ces sites sont également couverts par deux appellations SIQO, la première pour l'IGP pour la production de Mirabelle de Lorraine (Fruit à Noyau) et la seconde pour l'IGP Bergamotes de Nancy indépendamment de toute production agricole.
- **Le site Morley-Couvertpuis (dép.55)** exclusivement sur prairie 20,2 ha ; est situé en zone vulnérable. Les mesures compensatoires envisagées ne sont pas incompatibles avec la réglementation de la Directive Nitrates. Ce site ne fait pas l'objet d'une zone Natura 2000. Il est couvert par trois appellations SIQO dont l'IGP Bergamotes de Nancy, l'IGP pour la production de Mirabelle de Lorraine (Fruit à Noyau) et l'AOC Brie de Meaux. Pour cette dernière appellation, les mesures compensatoires environnementales envisagées visent à améliorer et assurer le maintien des prairies garantissant une valorisation potentielle dans le cadre d'une production laitière en AOC Brie de Meaux.
- **Les deux sites en Haute-Marne de Thonnance-les-Moulins et de Cirfontaines-en-Ornois** d'une surface totale de 27,8 ha en grandes cultures sont situés en zone vulnérable, les mesures compensatoires envisagées ne sont pas incompatibles avec la réglementation de la Directive Nitrates. Ces sites ne font pas l'objet d'une zone Natura 2000. Ils sont couverts par trois appellations SIQO dont l'IGP Emmental français Est-Central, l'AOC Brie de Meaux et l'IGP pour la production de

Mirabelle de Lorraine (Fruit à Noyau). Pour les deux appellations fromagères, les mesures compensatoires environnementales envisagées visent à améliorer et développer les surfaces en herbe plus favorables pour une production laitière.

2.6 Synthèse des enjeux agricoles du projet global Cigéo

À partir de cette analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire aux différentes échelles d'étude, il est possible d'identifier les enjeux agricoles associés aux aménagements du projet global Cigéo et à ses activités. Les enjeux agricoles sont regroupés en 7 groupes (cf. Tableau 2.6-1) :

- enjeux fonciers agricoles ;
- enjeux exploitations ;
- enjeux SIQO :
  - ✓ fromages ;
  - ✓ vins ;
- enjeux filière IAA industrie agroalimentaire ;
- enjeux filière Agro-fournitures ;
- enjeux Agro-machinisme ;
- enjeux agricoles de protection de l'environnement.

Cette appréciation qualifie les enjeux de « Nul » à « Très fort » en tenant compte des caractéristiques de l'état initial du territoire en pour chacune des opérations. Elle permet de cibler les enjeux majeurs pour lesquels les effets du projet doivent être évités et/ou réduits, si nécessaire compensés.

Tableau 2.6-1 Grille d'évaluation des enjeux agricoles du projet global Cigéo

	Grille d'évaluation des enjeux agricoles du projet global Cigéo									
Aménagement	**ITE**	**LIS**	**ZD +(ZP)**	**Compensation environnementale**	**Caractérisations environnementales**	**Poste RTE**	**Dévoiement route départementale D60/960**	**Adduction eau**	**L 400 kV**	**L 027000**
Type	Remise en service et création d'une voie ferrée	Liaison intersites avec piste et convoyeur	Zone d'exploitation et de réception des colis	Modification des pratiques agricoles	Plateformes de forage	Poste électrique	Contournement routier	Canalisation enterrée	Renforcement ligne électronique	Remise en service d'une ancienne voie ferrée
Dimensionnement	14 km - 121 ha	5 km - 46 ha	296 ha + (202 ha)	166 ha	2 ha	6 ha environ	9 ha	10 à 15 km	130 km	36 km
Emprises agricoles	67 ha Création de 4 km	43 ha pour installations	276 ha + (2 ha) pour installation	166 ha	2 ha	6 ha environ pour installations	9 ha pour installations	1 ha pour les installation et occupation temporaire	Occupation temporaire renforcement fondation pylônes	9 ha pour aménagement rétablissements
Nb. communes concernées	4	2	3	8		1	3	6	48	17
Enjeux fonciers agricoles										
Perte de surface agricole	Moyen	Fort	Très fort	Nul	Très faible	Faible	Moyen	Très faible	Nul	Moyen
Pression marché foncier	Moyen	Moyen	Fort	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Nul	Nul	Nul
Modif. accès parcellaire	Fort	Fort	Fort	Nul	Très faible	Très faible	Fort	Nul	Très faible	Fort
Enjeux exploitations										
Perte d'activité de l'exploitation	Très faible	Très faible	Très fort	Faible	Très faible	Faible	Faible	Très faible	Nul	Faible
Contrainte système d'exploitation	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très faible	Très faible	Faible	Nul	Nul	Très faible
Potentiel de développement	Très faible	Faible	Fort	Moyen	Très faible	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul
Enjeux SIQO Fromages										
SIQO traversé	IGP Emmental	AOC Brie de Meaux	IGP Emmental AOC Brie de Meaux	IGP Emmental AOC Brie de Meaux	IGP Emmental AOC Brie de Meaux	AOC Brie de Meaux	IGP Emmental AOC Brie de Meaux	IGP Emmental AOC Brie de Meaux	IGP Emmental AOC Brie de Meaux	AOC Brie de Meaux
Enjeux réduction périmètres	Très faible	Faible	Fort	Nul	Très faible	Faible	Faible	NC	NC	Très faible
Enjeux image	Faible	Faible	Fort	Nul	Très faible	Très faible	Très faible	NC	NC	Faible
Enjeux SIQO Vins										
SIQO traversé	IGP Haute-Marne	IGP Haute-Marne	IGP Haute-Marne	NC	NC	NC	IGP Haute-Marne	IGP Haute-Marne	NC	AOC Mirabelle
Enjeux réduction périmètres	NC	NC	Faible	NC	NC	NC	Très faible	Nul	NC	Très faible

	Grille d'évaluation des enjeux agricoles du projet global Cigéo									
Aménagement	**ITE**	**LIS**	**ZD +(ZP)**	**Compensation environnementale**	**Caractérisations environnementales**	**Poste RTE**	**Dévoiement route départementale D60/960**	**Adduction eau**	**L 400 kV**	**L 027000**
Enjeux image	Très faible	Très faible	Faible	NC	Très faible	NC	Très faible	Nul	NC	Très faible
Enjeux Industries Agro-Alimentaires										
Industrie à proximité	Fromagerie	Fromagerie	Fromagerie		Fromagerie	Fromagerie	Fromagerie	Nul	NC	Fromagerie
Dépendance bassin de production	Très faible	Très faible	Moyen	NC	Très faible	Très faible	Très faible	Nul	NC	Très faible
Enjeux Agro-fournitures										
Industrie à proximité	Silos	Silos	Silos	Silos	Silos	Silos	Silos	Nul	NC	Silos
Dépendance bassin de production	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Très Faible	Faible	Faible	Nul	NC	Très faible
Enjeux Agro-machinisme										
Industrie à proximité	Concessionnaire	Concessionnaire	Concessionnaire	Concessionnaire	Concessionnaire	Concessionnaire	Concessionnaire	Nul	NC	Concessionnaire
Dépendance bassin de production	Faible	Faible	Moyen	Faible	Très Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Très faible
Enjeux agricoles de protection l'environnement										
Zone vulnérable directive Nitrates	Faible	Nul	Moyen	Très Faible	Très Faible	Moyen	Moyen	Très faible	NC	Très faible
Protection des espaces protégés	NC	NC	NC	Très Faible	Très Faible	NC	NC	NC	NC	Très faible
Protection de captages	Moyen	NC	Très faible	Très Faible	Très Faible	NC	Faible	Très faible	NC	Très faible

NC : non concerné

Synthèse : 2 - Analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné

L'analyse de l'état initial de l'économie agricole à différentes échelles du territoire ont conduit à l'identification des enjeux agricoles et à leur hiérarchisation en fonction des aménagements du projet global Cigéo. Les principaux enjeux sont ceux liés d'une part à la perte de surface agricole dont dépend l'activité des exploitations agricoles et celle des filières économiques et d'autre part ceux liés à la préservation de l'image et de la qualité des productions. Ces enjeux sont d'autant plus importants que plusieurs productions agricoles fromagères sous SIQO (Signes d'identification de la qualité et de l'origine) ont une partie de leur aire d'appellation dans les emprises de la zone d'intervention du centre de stockage Cigéo et quelques unités de transformations à proximité. D'autres enjeux relèvent davantage des incidences d'une modification du parcellaire agricole pour des mesures réglementaires appliquées dans le cadre de périmètres de protection de l'environnement (zone vulnérable de la Directives Nitrates, zone Natura 2000, protection de captage) et pour assurer le maintien des dessertes agricoles.

Par anticipation de ces enjeux, des mesures d'évitement et de réduction ont été engagées dès la conception du centre de stockage afin de réduire les emprises agricoles, favoriser les échanges de parcelles pour maintenir les exploitations, optimiser les réseaux routiers et les dessertes agricoles. Ces mesures sont présentées au chapitre 4 Mesures d'évitement et de réduction.

Cependant, toutes ces mesures ne permettent pas d'éviter tous les effets négatifs du centre de stockage Cigéo sur l'activité agricole.

3

Étude des effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire

3.1	Effets du projet global Cigéo sur l'économie agricole	160
3.2	Les effets négatifs du projet global Cigéo sur l'économie agricole du territoire	161
3.3	Les effets positifs du projet sur l'économie agricole du territoire	171
3.4	Effets cumulés avec d'autres projets	171
3.5	Synthèse des effets et des incidences du projet global Cigéo pour l'économie du territoire	172
3.6	Évaluation des incidences économiques du projet global Cigéo pour le territoire	173

Plus de la moitié des zones d'intervention potentielle du projet global Cigéo concerne des surfaces agricoles. Le changement d'utilisation de ces surfaces impacte potentiellement non seulement les exploitations agricoles concernées, mais encore l'ensemble de la filière économique agricole.

3.1 Effets du projet global Cigéo sur l'économie agricole

Les effets du projet global Cigéo correspondant potentiellement à des incidences pour l'économie agricole et qui peuvent être permanentes ou temporaires sont :

Les effets négatifs du projet :

- la mobilisation de réserves foncières agricoles avec une incidence sur le marché foncier et les surfaces disponibles pour l'installation et l'agrandissement des exploitations ;
- le retrait de surfaces agricoles conduisant à :
  - ✓ une diminution de surface agricole exploitable impactant les productions locales, y compris celles sous signe d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) à plus haute valeur ajoutée, les filières et l'emploi ;
  - ✓ une diminution des terres exploitées pour des productions sous signe d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) à plus haute valeur ajoutée ;
- les modifications des itinéraires d'accès aux parcelles agricoles ;
- la coupure de réseaux de drainage de parcelles agricoles ;
- des perturbations de la ressource en eau (quantité, qualité, écoulements), de qualité de l'air ou des sols impactant la qualité des productions agricoles ;
- une évolution de l'image des productions liée à la présence du projet, compte tenu en particulier à la présence de déchets radioactifs ;
- la modification des pratiques agricoles sur les surfaces de compensation environnementale des milieux ouverts

Les effets positifs du projet :

- développement de la diversification de l'activité des exploitations ;
- développement du changement des modalités d'exploitation de parcelles en mesures compensatoires écologiques des milieux ouverts.

Les effets positifs attendus du projet :

- développement de la diversification de l'activité des exploitations pour répondre aux besoins des personnes qui contribueront à la construction et au fonctionnement des installations du projet (circuits courts de la production à la consommation : fruits, légumes, viandes, lait, œuf...) ;
- développement du changement des modalités d'exploitation de parcelles en mesures compensatoires écologiques des milieux ouverts pour une agriculture soucieuse de préserver la biodiversité.

3.2 Les effets négatifs du projet global Cigéo sur l'économie agricole du territoire

3.2.1 Mobilisation des réserves foncières agricoles

Compte tenu de l'importance des emprises agricoles requises pour la réalisation du centre de stockage Cigéo et afin d'en réduire au maximum son impact sur l'activité économique des exploitations directement concernées, dès 2008 l'Andra a conventionné avec les SAFER de Lorraine et de Champagne-Ardenne (nouvellement dénommée SAFER Grand-Est) pour constituer des réserves foncières sur les départements de Meuse et de Haute-Marne. L'objectif était d'être en capacité de proposer, aux agriculteurs concernés directement par les implantations des installations de surface du centre de stockage Cigéo des terres agricoles en échange afin de maintenir leur activité sur une zone agricole proche et équivalente. Après localisation des zones d'installation de surface zone, l'Andra et les SAFER ont ainsi procédé à des échanges de parcelles à partir de ces réserves pour compenser les exploitants et propriétaires concernés.

Ces opérations foncières ont été menées dès 2013 en concertation Safer/Andra selon les obligations réglementaires applicables en matière d'attribution, à savoir.

- publicités légales à réaliser avant et après les attributions ;
- avis du comité technique départemental et/ou commission interdépartementale de la SAFER GE ;
- décisions du conseil d'administration de la SAFER GE soumises à l'approbation de ses commissaires du Gouvernement.

3.2.1.1 Constitution de réserves foncières

Ces réserves foncières ont commencé en 1995 par l'acquisition d'une exploitation à Bure pour l'installation du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne. Sur les 90 ha achetés, 17 ha ont été aménagés. Les 73 ha restants ont été confiés à la SAFER via une convention de mise à disposition pour en assurer la mise en exploitation via des conventions d'occupation précaire.

Pour compléter cette réserve foncière nécessaire au centre de stockage Cigéo, les SAFER ont procédé à l'acquisition de terrains principalement sur des exploitations sans repreneur (cf. Tableau 3.2-1). Ce foncier se répartit à une distance moyenne de 26 km autour Bure (Figure 3.2-1).

Tableau 3.2-1 Principales opérations d'acquisition des réserves foncières

Date acquisition	Exploitation	Opérateurs	Commune	Dép.	Distance	Surface (ha)
déc. 1995	Exploitation	Andra	Bure	55	1	73
déc. 2010	Exploitation	Safer	Beurey-su-Saulx	55	48	205
sept. 2011	Parcelles	Safer	Couvertpuis	55	12	45
déc. 2011	Parcelles	Safer	Chalvraines	52	41	15
janv. 2012	Parcelles	Safer	Bure	55	1	15
janv. 2012	Exploitation	Safer	Chassey-Beaupré	55	8	92

Date acquisition	Exploitation	Opérateurs	Commune	Dép.	Distance	Surface (ha)
mars 2012	Exploitation	Safer	Autigny-le-Grand	52	22	110
juin 2012	Exploitation	Safer	Harréville-les-Chanteurs	52	41	41
juin 2012	Exploitation	Safer	Viéville	52	47	18
sept. 2012	Parcelles	Safer	Saulvaux	55	32	38
nov. 2013	Exploitation	Safer	Cirfontaines-en-Ornois	52	7	110
janv. 2014	Exploitation	Safer	Chassey-Beaupré	55	8	67
août 2014	Parcelles	Safer	Tourailles-sous-Bois	55	7	74
mai 2015	Parcelles	Safer	Lamorville	55	66	55
juin 2015	Exploitation	Safer	Goncourt	52	44	25
				Total		**982**

En 2011, l'ensemble des réserves foncières agricoles s'élevait à un peu plus de 400 ha. Suite à la définition de la zone descenderie en 2012, les premiers échanges de parcelles ont été effectués pour en assurer la maîtrise foncière pour atteindre 271 ha en 2015 puis des échanges ont été faits au niveau des zones d'implantation potentielle de l'installation terminale embranchée et de la liaison intersites avec un total de 307 ha en 2019. Parallèlement à ces échanges, les sites de compensations environnementales sur les milieux ouverts ont été définis en priorité sur des parcelles déjà maîtrisée pour une surface de 166 ha en 2016. De 2012 à 2019, les stocks fonciers agricoles hors emprises du centre de stockage ont été ramenés de 623 ha à 413 ha.

Une partie de ces réserves foncières ont été rétrocédées à d'autres opérateurs économiques et à des collectivités territoriales pour de l'aménagement de zones d'activités et le développement du réseau routier (environ 60 ha).

Fin 2019 les stocks fonciers agricoles se répartissent à hauteur de 307 ha sur les zones d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo, 166 ha sur les sites de compensations environnementales et 413 ha hors zone d'implantation dans un rayon de 60 km autour de Bure, soit un total de 886 ha.

À l'échelle du territoire concerné regroupant les 4 anciens cantons (Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Poissons et Ligny en Barrois), cette réserve foncière représente une mobilisation de 2,2 % de la SAU totale.

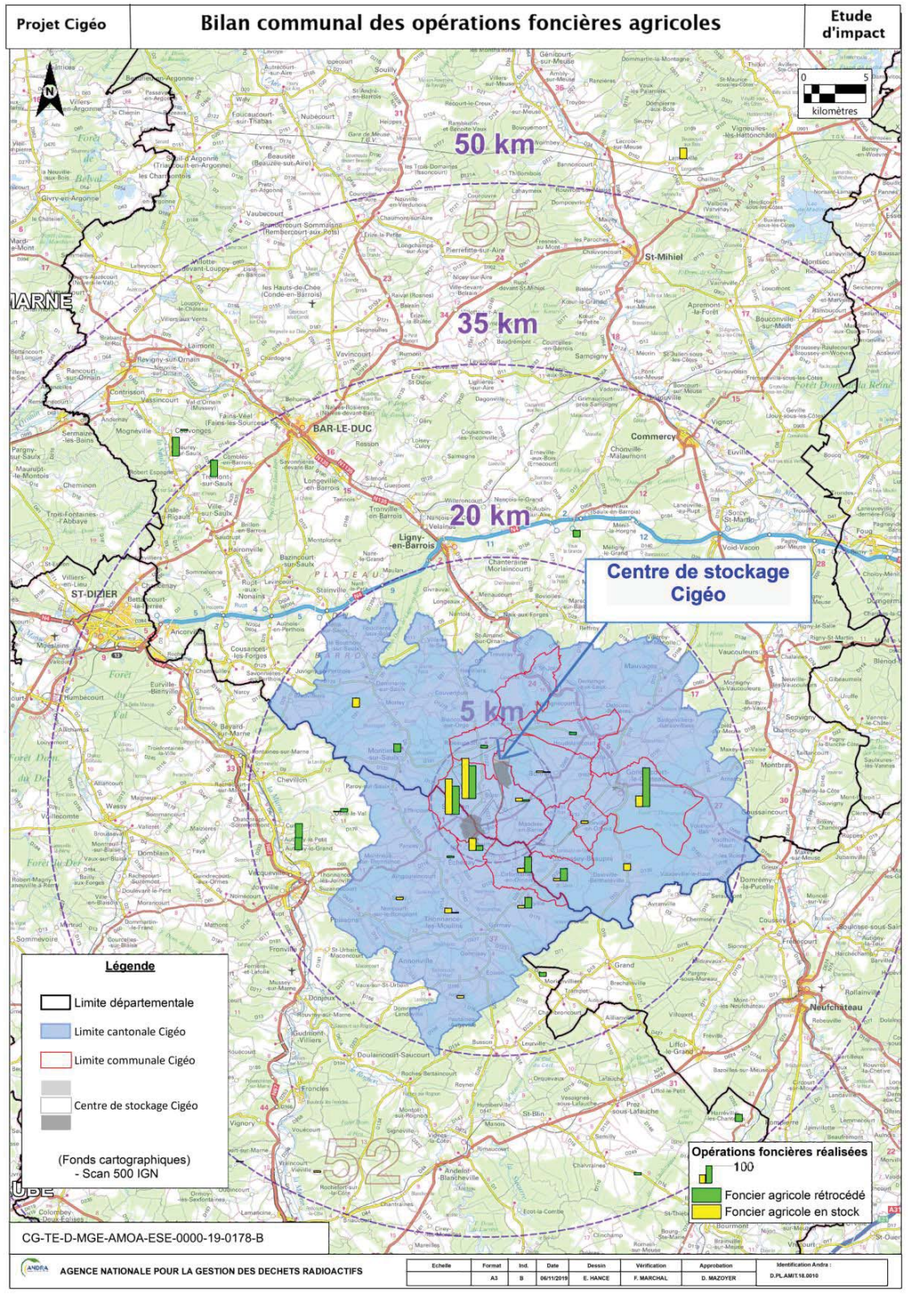


Figure 3.2-1 *Principales opérations d'acquisitions de réserves foncières agricoles*

3.2.1.2 Incidences sur le marché foncier

Depuis la fin des années 1990, le prix du foncier agricole augmente de façon constante en raison d'un déséquilibre entre la demande et l'offre des terres agricoles disponibles. Cette évolution à la hausse est observée à l'échelle nationale et régionale (cf. Figure 3.2-2). L'écart de prix entre les biens libres et loués est inférieur en région Grand-Est (+ 5 % pour les biens libres) à celui de la moyenne nationale (+ 33 % pour les biens libres).

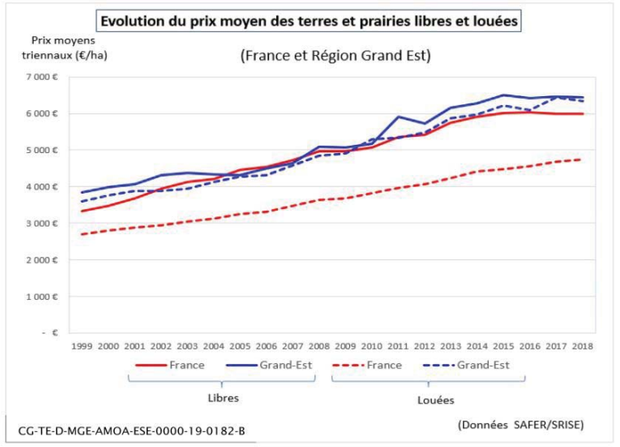


Figure 3.2-2 *Évolution du prix moyen des terres et prairies libres et louées en France et en région Grand-Est*

Plus localement, des écarts significatifs sont constatés entre département avec un niveau de prix nettement plus faible dans les départements des Vosges et de la Haute-Marne (cf. Figure 3.2-3). Le prix moyen du foncier agricole libre de 2015 à 2018 s'élève à 3 425 €.ha^{-1} en Haute-Marne et atteint plus de 5 392 €.ha^{-1} en Meuse soit un écart de 57 %.

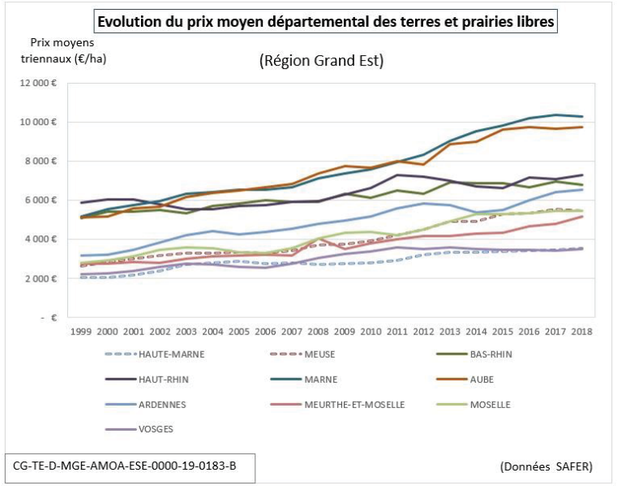


Figure 3.2-3 *Évolution des prix moyens départementaux des terres et prairies libres en région Grand-Est*

À l'échelle de la petite région agricole du Barrois dans laquelle se situe le centre de stockage Cigéo, la valeur du foncier progresse également à la hausse avec un prix des terres et des prairies libres proches des valeurs départementales (cf. Tableau 3.2-2). Un écart significatif des prix est constaté entre les deux secteurs du Barrois (Meuse et Haute-Marne). Le prix moyen sur la période 2014-2018 s'établit à 3 698 €.ha^{-1} sur le Barrois Haute-Marnais et à 5 313 €.ha^{-1} sur le Barrois Meusien.

Tableau 3.2-2 Variation du prix de foncier agricole Meuse et Haute-Marne

	Moyenne 2010-2014		Moyenne 2015-2018		Ecart. (15-18) /(10-14)	
	Libre (€/ha)	Loués (€/ha)	Libre (€/ha)	Loués (€/a)	Libre	Loués
Dép. Haute-Marne	3 106 €	2 800 €	3 425 €	3 290 €	10 %	18 %
Barrois Haute-Marne	3 420 €	3 068 €	3 698 €	3 720 €	8 %	21 %
Dép. Meuse	4 484 €	3 548 €	5 393 €	4 065 €	20 %	15%
Barrois-Meuse	4 556 €	3 464 €	5 313 €	3 943 €	17 %	14%
Moyenne	**3 892 €**	**3 220 €**	**4 457 €**	**3 754 €**	**15 %**	**17 %**
Libres/Loués	**21 %**		**19 %**			

L'écart de prix entre les biens libres et loués est significatif sur le Barrois (+ 35 % pour les biens libres) alors qu'il est nettement plus variable dans le Barrois Haut-Marnais (cf. Figure 3.2-4). À partir de l'année 2015, le prix des terres continuent de progresser sur le Barrois-Meuse alors qu'il régresse sur le secteur du Barrois-Haute-Marne pour se stabiliser. Cette différence d'évolution du prix des terres tend à montrer que les acquisitions foncières pour le centre de stockage Cigéo ont eu peu d'influence sur le marché.

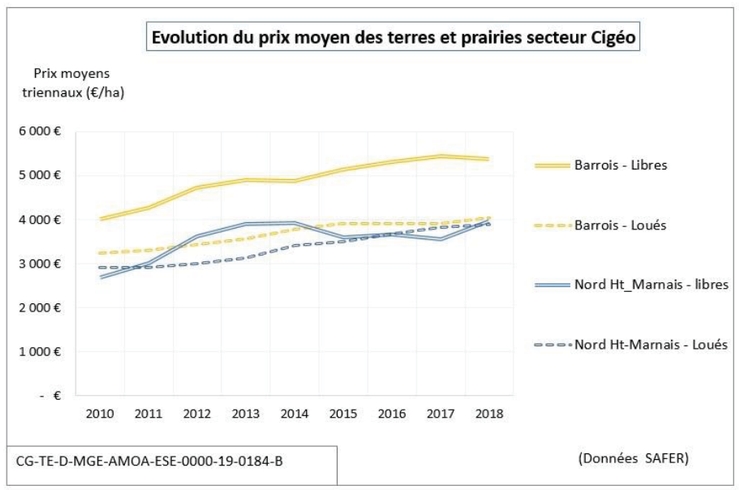


Figure 3.2-4 Évolution du prix des terres et prairies libres du Barrois et du nord-est Haut-Marnais

Au vu des données relatives au prix de vente des terres agricoles, le territoire se situe dans une fourchette haute, témoignant d'une tension réelle du marché foncier liée à la faible disponibilité et une demande grandissante pour de l'installation et de l'agrandissement.

Les acquisitions foncières agricoles ont été menées par les SAFER qui ont négocié les prix d'achat en cohérence avec le marché du foncier sous le contrôle de la Direction immobilière de l'État. Parmi ces opérations foncières, il faut distinguer d'une part le prix d'achat des terres agricoles pour la constitution de réserves foncières devant faire l'objet d'échange à des fins de compensation, et d'autre part celui du foncier localisé sous les emprises futures du centre de stockage Cigéo dont l'usage agricole est amené à disparaître.

Le prix d'achat pour constituer les réserves foncières (biens libres) est légèrement supérieur (+8,7 %) à celui observé sur le département de la Meuse (4 888 €/ha) et plus particulièrement sur le Barrois (4 892 €/ha). Cette différence de prix s'explique par une pression foncière un peu plus importante sur le secteur de Bure et part un effet d'opportunité de vente du foncier pour des échanges qui seront réalisés dans le cadre d'un projet industriel.

Concernant le prix d'acquisition des sites de compensations environnementales, il est également supérieur à la moyenne départementale de la Meuse et à celui du Barrois de + 15 %. Cette différence plus importante est justifiée pour partie par les échanges qui ont été réalisés pour certaines parcelles avec celles initialement acquises intégrant des coûts d'acquisition majorant leur prix de revient.

Pour le foncier acquis sur les futures zones d'installation du centre de stockage Cigéo, les prix pratiqués sont ceux fixés par les services de France Domaine intégrant la destination finale de ce foncier à des fins d'aménagement. Dans la majorité des situations ce prix intègre les frais d'acquisition du foncier rétrocédé lorsqu'il y eu un échange d'effectué. Le prix moyen du foncier sur les zones d'installation est supérieur de 28 % à la moyenne départementale Meuse de 5 228 €/ha pour la période de ces acquisitions 2013 à 2018.

De 2010 à 2018, le prix du foncier libre a progressé de 38 % sur le département de la Meuse et de 27 % sur le département de la Haute-Marne. Sur le secteur du Barrois, le prix du foncier a progressé de 34 % au cours de la même période.

3.2.1.3 Incidence pour l'installation et l'agrandissement des exploitations

La constitution de réserves foncières pour le centre de Stockage Cigéo a conduit à une réduction de la disponibilité des surfaces agricoles de façon significative pouvant pénaliser temporairement des possibilités d'installation ou d'agrandissement.

La nécessité de rechercher du foncier disponible pour de l'installation ou de l'agrandissement sur un secteur élargi aux communes limitrophes des emprises du projet a également eu pour effet de créer une pression foncière supplémentaire.

Toutefois, ces acquisitions faites pour le compte de l'Andra par l'intermédiaire de la SAFER ont été réalisées en suivant les procédures d'appel à candidature et après validation par les comités techniques SAFER afin de ne pas remette en cause un projet d'installation ou d'agrandissement d'une structure pour un jeune agriculteur. À titre d'exemple, plusieurs demandes de l'Andra pour des mises en réserve ont été écartées pour d'autres projets agricoles (67 ha à Outremecourt, 5 ha à Soulaucourt-sur-Mouzon, 7,8 ha à Dammarie-sur-Saulx, 67 ha à Apremont-la-Forêt, 112 ha Échenay).

Cette démarche engagée depuis une dizaine d'années a permis de constituer progressivement cette réserve foncière afin d'en limiter les conséquences sur le développement des exploitations agricoles et pour compenser les exploitations directement concernées par les emprises du centre de stockage Cigéo afin d'en préserver les outils de production.

À l'issue des derniers échanges à réaliser et après validation des sites de compensation environnementale, c'est environ 400 ha de surface agricole qui seront remis sur le marché agricole. Les représentants de la profession agricole pourront définir les critères de redistribution en fonction des besoins d'installation et d'agrandissement de certaines structures.

3.2.2 Retrait de terres agricoles

La perte de SAU est établie pour l'ensemble des emprises foncières qui n'auront plus d'usage agricole (cf. Tableau 3.2-3). Parmi ces emprises, sont distinguées les surfaces dont le changement de destination est permanent (installations définitives) de celui pour lesquelles il sera temporaire (marge incertitude).

Tableau 3.2-3 Emprises agricoles du centre de stockage Cigéo

	Département 52		Département 55	
	Installations	Marge incertitude	Installations	Marge incertitude
Emprises des installations de surface	Surface (ha)	Surface (ha)	Surface (ha)	Surface (ha)
Culture	198,8	19,1	108,8	43,2
Prairie	9,1	0,9	4,0	5,0
Total général	207,9	20,0	112,7	48,2

L'emprise de surface agricole du projet engendre une perte définitive de 320 ha de SAU agricole dont 307 ha de terre labourable et 13 ha de prairie, occasionnant un effet permanent de réduction des surfaces exploitées et par conséquent de l'activité économique à l'échelle de l'exploitation.

Une part limitée des emprises de la marge d'incertitude pourra s'ajouter à ces surfaces avec un maximum de 68 ha. Les plateformes de chantier seront rendues à l'usage agricole après travaux.

À ces surfaces agricoles du centre de stockage Cigéo, s'ajoutent celles des autres opérations majoritairement en Meuse:

- poste RTE 400 kV : 6 ha environ (Meuse) ;
- dévoiement route départementale D60/960 : 9 ha environ (Meuse et Haute-Marne) ;
- rétablissements de la ligne ferroviaire 027000 : 9 ha environ (Meuse) ;
- réseau d'adduction d'eau: < 1 ha (Meuse et Haute-Marne) ;
- caractérisation surveillance : 2 ha (Meuse et Haute-Marne).

Soit pour le projet global Cigéo de 347 ha à 415 ha selon les implantations définitives.

3.2.2.1 Incidence pour la production agricole locale

La perte de SAU induit un effet direct et permanent correspondant à une diminution des volumes de productions à l'échelle du territoire mais pas à celle de l'exploitation ayant bénéficié d'un échange de foncier. Cette perte de production impactera directement le chiffre d'affaires des filières associées.

La réduction des surfaces disponibles pour la production de grandes cultures peut également engendrer une modification des systèmes de production ou d'orientation technico-économique des exploitations pour développer d'autres productions agricoles nécessitant moins de surfaces ou dégageant des plus-values plus importantes. Les contraintes environnementales (réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires) et les changements climatiques poussent à une remise en cause des systèmes de cultures actuels pour d'autres formes de productions agricoles.

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Étude des effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire

3.2.2.2 Incidence particulière sur les productions sous SIQO (Signe officiel d'Identification de la Qualité et de l'Origine)

Sur le territoire concerné, les productions sous SIQO sont essentiellement liées à la production laitière destinée à la production fromagère sous appellation AOC-AOP Brie de Meaux et IGP Emmental français Est-Central.

La réduction des surfaces agricoles a un effet direct et permanent pour des productions sous aire d'appellation.

En effet, si, compte tenu des mesures d'évitement et de réduction, les effets du projet sur la pérennité des aires d'appellation et le respect du cahier des charges ne sont pas notable. Le potentiel de production et la valeur ajoutée associées au niveau du territoire sont affectés.

3.2.2.3 Incidences pour les filières amont/aval

La disparition de surfaces agricoles génère un impact sur les activités de la sphère agricole. Non seulement elle va limiter les volumes produits pour les filières aval mais également toutes les filières amont existantes pour accompagner ces productions.

Les filières impactées sont celles liées aux systèmes de production présents dans l'emprise du projet qui sont majoritairement de grandes cultures, de polyculture élevage et laitiers. Le chapitre précédent démontre une faible diversité des productions.

À noter qu'aucune des cultures concernées n'est une culture spécialisée avec des circuits amont et aval spécifiques pouvant être impactés de façon notable.

a) Effets indirects et permanents pour les filières amont

- perte de chiffre d'affaire pour les structures d'approvisionnement (matériel, semences, engrais, phytosanitaires) pour les coopératives, les marchands de matériel et les entreprises d'agrofournitures… ;
- perte d'activité pour les entreprises de travaux agricoles ;
- perte d'activité pour les structures d'accompagnement et de services : conseils techniques, ingénierie, comptabilité, vétérinaire.

b) Effet indirect et permanent pour les filières aval

- perte de volume de production pour les structures de stockage, transformation et débouchés de la production : coopératives, négociants, abattoirs, magasins de vente, industriels…

3.2.2.4 Incidence sur l'emploi et le temps de travail rémunéré

Le retrait de la surface agricole réduit la part d'activité des exploitants mais également celle de la main d'œuvre salariale.

a) Effet direct et permanent

Le retrait de surfaces agricoles à exploiter représente une perte d'activité rémunérée au titre de l'exploitant et de l'ouvrier agricole. Cette perte d'activité est dépendante de la surface concernée et du système d'exploitation.

b) Effet indirect

L'emploi agricole tend à diminuer dans la petite région agricole. Si localement les échanges de parcelles ont assuré le maintien des exploitations agricoles en place, il n'en demeure pas moins que les surfaces ne sont disponibles pour des exploitants ou de nouveaux agriculteurs. Cependant les échanges de terres

réalisés dans un rayon de plus de 50 km sur une période de 10 années ont largement limité cet effet indirect.

Compte-tenu de l'ensemble de ces effets, le retrait de terres agricoles a une incidence notable sur l'économie du territoire.

3.2.3 Modifications des itinéraires d'accès aux parcelles

Les dessertes agricoles ont été étudiées sur l'ensemble de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo afin de définir les rétablissements à aménager dans le cadre des mesures d'évitement et de réduction (cf. Chapitre 4 du présent document). Globalement, l'accès aux parcelles agricoles est assuré pour tous les exploitants concernés. L'allongement de parcours se limite à quelques dizaines de mètres pour quelques parcelles. Pour certains exploitants, les temps d'accès aux parcelles peuvent même être réduits.

L'incidence du projet sur les itinéraires agricoles est très faible et n'induira pas d'incidence négative pour l'économie du territoire.

3.2.4 Coupure de réseaux de drainage de parcelles agricoles

Les surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle de surface majoritairement localisées sur des sols superficiels argilo-calcaires ne sont pas drainées à l'exception d'un petit secteur sur la commune de Gillaumé. **L'incidence économique est très limitée car les rares réseaux de drainage qui seraient concernés seront reconstitué**s. Ces mesures sont décrites dans le Chapitre 4 - Mesures d'évitement et de réduction.

3.2.5 Perturbations de la ressource en eau (qualité et quantité), de qualité de l'air pouvant impacter la qualité des productions agricoles

Ces effets ont été intégrés dans les données de conception du projet global Cigéo et ont donné lieu à des mesures spécifiques pour en limiter les incidences pour les productions agricoles et par la même sur l'économique agricole. Les mesures sont décrites dans le chapitre 4 du présent document. **L'incidence sur l'économie du territoire n'est pas notable.**

En phase travaux, les émissions temporaires de particules ne sont ainsi pas de nature à avoir un impact notable sur la qualité agronomique des parcelles et des cultures, y compris celles relevant de signes de qualité.

En phase de fonctionnement, les émissions de poussières sont principalement liées à l'évacuation des verses lors du déploiement progressif des ouvrages souterrains. Celles liées aux circulations des véhicules sont beaucoup plus faibles que pendant les travaux.

Les émissions de gaz et particules radioactifs, du centre de stockage Cigéo sont très faibles et correspondent principalement à des gaz qui ne peuvent être retenus par les colis de déchets radioactifs et les filtres. Déjà présents naturellement dans les produits agricoles à des concentrations extrêmement faibles, le carbone 14 et le tritium pourraient y être détectés mais toujours avec des concentrations extrêmement faibles, sans incidence sur la qualité des productions agricoles.

Ces effets du projet seraient sans incidence pour les productions agricoles du territoire concerné et donc pour son économie.

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Étude des effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire

3.2.6 Une évolution de l'image des productions

Pour l'image de toutes les productions en particulier sous SIQO à proximité du projet, il est difficile d'appréhender une incidence. Les mesures de réduction permettent d'assurer de faibles niveaux de rejets de polluants et un suivi des productions agricoles sera mis en place pour assurer une veille sur la qualité des produits.

3.2.7 La modification des pratiques agricoles sur les surfaces de mesures compensatoires environnementales

Pour la mise en œuvre des mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts présentées au chapitre « 1.5.3 Les besoins fonciers de compensations environnementales, » les emprises foncières agricoles nécessaires hors zone d'implantation potentielle de surface du centre de stockage Cigéo s'élèvent à 166 ha.

Pour garantir la pérennité des mesures sur une période minimale de 50 ans, le Maître d'ouvrage se doit d'assurer la maîtrise foncière par la propriété des surfaces dédiées. Par conséquent, hors des zones d'installation de surface du centre de stockage Cigéo l'Andra privilégie les parcelles agricoles de sa réserve foncière pour éviter des emprises supplémentaires sur des exploitations à proximité immédiate du centre de stockage Cigéo.

La mise en œuvre de ces mesures seront confiées à des exploitants agricoles dans le cadre d'un bail rural environnemental (BRE) leur garantissant la pérennité du dispositif.

Introduit par la loi d'orientation agricole du 5 Janvier 2006, le bail environnemental est une forme de bail rural qui permet la mise en place de pratiques culturales spécifiques (Clauses particulières- Art. R. 411-9-11-1) à respecter par le preneur dans un but de protection de l'environnement ou des ressources naturelles. Ce type de bail est donc tout naturellement soumis au statut du fermage. Compte-tenu du cahier des charges et des contraintes environnementales associées, le loyer peut être minoré.

Les mesures compensatoires envisagées sur les sites sélectionnés s'intègrent parfaitement aux clauses environnementales prévues par l'article R. 411-9-11-1 du code rural et de la pêche maritime pour établir un bail rural environnemental :

- le non-retournement des prairies ;
- la création, le maintien et les modalités de gestion des surfaces en herbe (par exemple le pâturage extensif ou la fauche tardive) ;
- les modalités de récolte ;
- l'ouverture de zones embroussaillées, et le maintien de l'ouverture d'un milieu menacé par l'embroussaillement ;
- la mise en défens de parcelles ou de parties de parcelle (notamment par la mise en place de clôtures fixes ou temporaires et le respect de zones non récoltées) ;
- la limitation ou l'interdiction des apports en fertilisants ;
- la limitation ou l'interdiction des produits phytosanitaires ;
- la couverture végétale du sol périodique ou permanente pour les cultures annuelles ou pérennes ;
- l'implantation, le maintien et les modalités d'entretien de couverts spécifiques à vocation environnementale (par exemple des jachères ou des couverts d'interculture labellisés « Agrifaune ») ;
- l'interdiction d'irrigation, de drainage et de toutes autres formes d'assainissement ;
- les modalités de submersion des parcelles et de gestion des niveaux d'eau ;
- la diversification des assolements ;

- la création, le maintien et les modalités d'entretien de haies, talus, bosquets, arbres isolés, arbres alignés, bandes tampons le long des cours d'eau ou le long des forêts, mares, fossés, terrasses, murets ;
- les techniques de travail du sol comme la culture sans labour ;
- la conduite de cultures ou d'élevage suivant le cahier des charges de l'agriculture biologique ;
- les pratiques associant agriculture et forêt, notamment l'agroforesterie.

Dans ces conditions, la mise en œuvre de ces mesures environnementales permet le maintien d'une activité agricole. Sur ces surfaces, seules les charges inhérentes à leur exploitation et à leur niveau de production en seront modifiées avec une incidence économique variable pour l'exploitant et les filières en fonction de la mesure appliquée.

3.3 Les effets positifs du projet sur l'économie agricole du territoire

3.3.1 Développement de la diversification de l'activité des exploitations

La réalisation et dans une moindre mesure le fonctionnement du projet va nécessiter l'installation dans l'aire d'étude éloignée de nouvelles personnes devant se loger et se nourrir. Ces populations auront sans doute un effet positif sur le développement de l'hébergement à la ferme et la vente directe de produits.

3.3.2 Mesures compensatoires environnementales et développement d'une agriculture soucieuse de préserver la biodiversité

Les mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts mises en œuvre sur des surfaces agricoles pourront être valorisées par des exploitations agricoles du territoire qui cherchent à développer leur système de production dans le cadre d'une appellation Agriculture Biologique ou d'une agriculture de conservation en faveur de la biodiversité. Ces effets positifs du projet ne peuvent être évaluer pour le territoire.

3.4 Effets cumulés avec d'autres projets

Trois projets sont actuellement en cours dans sur le territoire concerné, tous trois situés sur l'ancien canton de Poissons. Il s'agit de 3 projets de parcs éoliens : le projet de parc éolien « Éole de Piroy » sur les communes de Montreuil-sur-Thonnance et Osne-le-Val (dép.52), le projet de parc éolien « Éole de la Joux » et le projet de parc éolien « La Combe Rougeux » (cf. Tableau 3.4-1)

Tableau 3.4-1 Projets dans l'aire éloignée

Projet	Communes d'implantation	État d'avancement 22/11/2019
Parc éolien « Éole du Piroy »	Osne-le-Val, Montreuil-sur-Thonnance	Avis de l'AE 29 mars 2018. Enquête publique du 13 septembre au 13 octobre 2018
Parc éolien « Éole de la Joux »	Épizon	Avis de l'AE le 7 octobre 2019

Projet	Communes d'implantation	État d'avancement 22/11/2019
Parc éolien « La Combe Rougeux »	Saint-Urbain-Manoncourt Domrémy-Landeville et Annonville	Avis de l'AE le mai 2017

- **Le projet de parc éolien « Éole de Piroy »**

  Ce projet, porté par la société de projet Éole de Piroy, est situé sur les communes d'Osne-le-Val et de Montreuil-sur-Thonnance. Ce projet de 6 MW à 10,35 MW de puissance installée sera constitué de 3 éoliennes d'une puissance unitaire variant de 2 MW à 3,45 MW La surface nécessaire à l'implantation d'une éolienne est de l'ordre de 0,2 hectares. Ce parc éolien induira au plus une perte de surface agricole de l'ordre de 0, 6 hectare.
- **Le projet de parc éolien « Éole de la Joux »**

  Ce projet éolien est constitué de 7 éoliennes et de deux postes électriques. Il concerne la commune d'Épizon (dép.52). La puissance totale développée est comprise entre 14 MW et 24,15 MW selon les machines retenues. Ce parc éolien induit une perte de surface agricole de l'ordre de quelques hectares.
- **Le projet de parc éolien « La Combe Rougeux »**

  Ce projet éolien compte 5 éoliennes qui produiront environ 23 500 MWh par an. Il se situe approximativement à 12 km au sud-ouest du projet global Cigéo.

Ainsi, quelques hectares de terres agricoles sont affectés par ces projets.

Les travaux de construction des parcs éoliens pourront démarrer dès l'obtention de toutes les autorisations, probablement courant 2020 au vu de l'avancement de leur instruction. Ainsi, les parcs éoliens seront déjà en fonctionnement quand démarreront les travaux d'aménagements préalables du projet global Cigéo.

Compte tenu de leur nature et des faibles surfaces agricoles impactées, ces projets n'ont pas d'incidence sur l'économie agricole. Aucun effet cumulé avec le projet global n'est donc attendu.

3.5 Synthèse des effets et des incidences du projet global Cigéo pour l'économie du territoire

Les effets potentiels ainsi que les incidences résiduelles sur l'économie du territoire concerné subsistant après mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction (cf. Chapitre 4) sont présentés dans le tableau (cf. Tableau 3.5-1).

Tableau 3.5-1 Incidences du projet global Cigéo sur l'économie agricole du territoire

Effets potentiels	Principaux éléments	Incidences sur l'économie du territoire concerné
Mobilisation de réserves foncières agricoles	• Augmentation de la pression foncière • Évolution du Prix du foncier • Réduction des surfaces disponible pour l'installation et l'agrandissement	Incidences négatives très limitées et temporaires mais induites par la mise en œuvre des mesures liées au maintien de l'activité des exploitations agricoles

Effets potentiels	Principaux éléments	Incidences sur l'économie du territoire concerné
Perte de surface agricole	• Diminution de la surface exploitable • Baisse de l'emploi agricole • Perte de revenu agricole • Diminution de la production agricole • Perte d'activité pour les filières • Réduction des aires d'appellation SIQO	Incidences résiduelles négatives permanentes et notables pour l'économie agricole du territoire.
Modification des dessertes agricoles	• Concertation locale et mesures d'évitement/réduction par l'aménagement des rétablissements	Incidences résiduelles très limitées sans conséquence pour l'économie du territoire.
Coupure de réseaux de drainage	• Localisation des réseaux existants et mesures d'évitement/réduction	Incidences résiduelles négligeables.
Perturbations ressources en eaux, qualité de l'air	• Contrôles des émissions et mesures d'évitement/réduction	Incidences résiduelles très limitées sans conséquence pour l'économie du territoire.
Image des productions	• Pas de dépendance directe mais nécessité d'un suivi	Incidences probablement faibles.
Diversification	• Augmentation d'une nouvelle demande locale (hébergement, produits locaux….)	Incidences potentielles positives pour le territoire.
Changement de mode d'exploitation des surfaces agricoles pour les mesures compensatoires écologiques	• Modification des conduites culturales en faveur de la biodiversité et non pas seulement la production	Incidences résiduelles permanentes négatives pour l'économie du territoire. Incidences positives pour l'image de l'agriculture.

3.6 Évaluation des incidences économiques du projet global Cigéo pour le territoire

Parmi les incidences économiques notables identifiées précédemment, est établie (cf. Figure 3.6-1) une évaluation :

- des incidences économiques induites par la perte de surface agricole (changement de destination des surfaces agricoles) ;
- des incidences économiques induites par le changement des modalités d'exploitation pour la mise en œuvre des mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts ;
- des incidences économiques induites sur la qualité des productions agricoles et leur image.

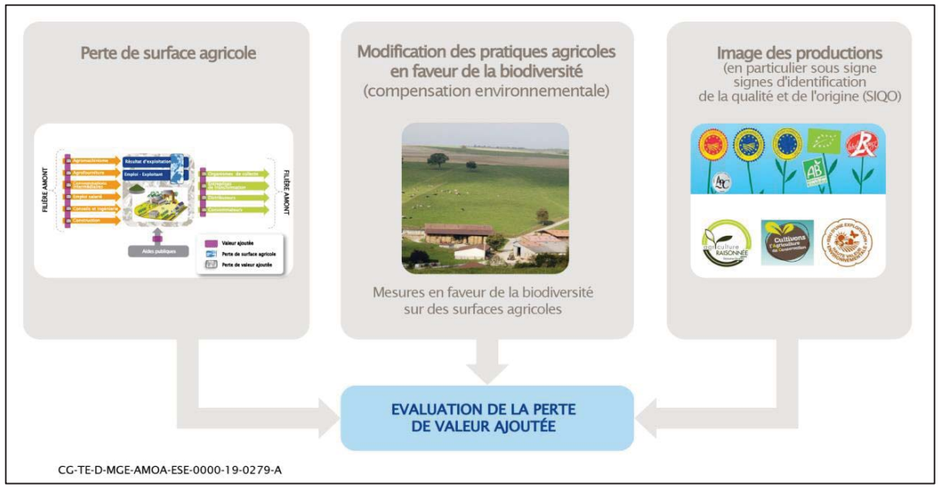


Figure 3.6-1 Schéma d'évaluation économique des enjeux agricoles

3.6.1 Incidences économiques induites par la perte de surface agricole

En prélevant définitivement du foncier agricole, le projet réduit la capacité de production de biens agricoles. Cela se répercute tant sur la production agricole que sur les opérateurs de l'amont et de l'aval avec moins d'achat auprès des fournisseurs et moins de volume commercialisé auprès des entreprises locales (cf. Figure 3.6-2).

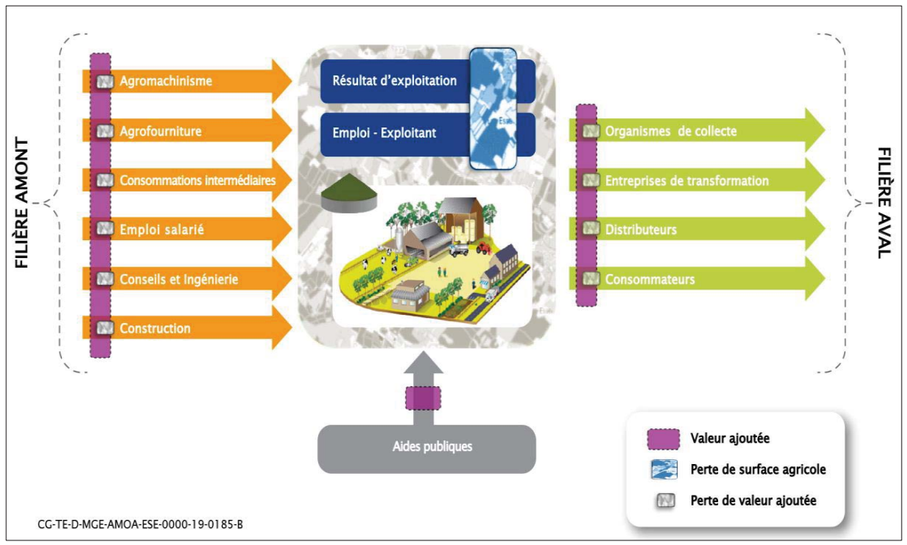


Figure 3.6-2 Illustration de la perte économique agricole

3.6.1.1 Méthodologie d'évaluation de l'incidence financière

L'évaluation financière de cet impact agricole est établie à partir de la mesure de perte de richesse générée par l'agriculture au niveau de l'exploitation et de l'activité amont et aval des filières.

- la perte d'activité de l'exploitation agricole correspond à la perte de rémunération du travail (emploi) et à la perte de revenu disponible annuel.
- pour les filières, l'indicateur économique fréquemment employé pour évaluer cette perte est celui de la valeur ajoutée qui est le plus pertinent pour mesurer la diminution de richesse agricole produite de par l'installation du projet.

Cette valeur ajoutée est définie comme la différence entre la valeur finale de la production (valorisée par le chiffre d'affaires) et la valeur des biens et moyens nécessaires au processus de production (main d'œuvre, équipement, agrofournitures, conseils et divers).

L'Indicateur « valeur ajoutée est pertinent pour mesurer la richesse produite puisqu'elle correspond à la différence entre le chiffre d'affaires et les consommations intermédiaires nécessaires à la production (cf. Figure 3.6-3).

Valeur ajoutée = Valeur finale de la production – Valeur des biens consommés par le procès de production

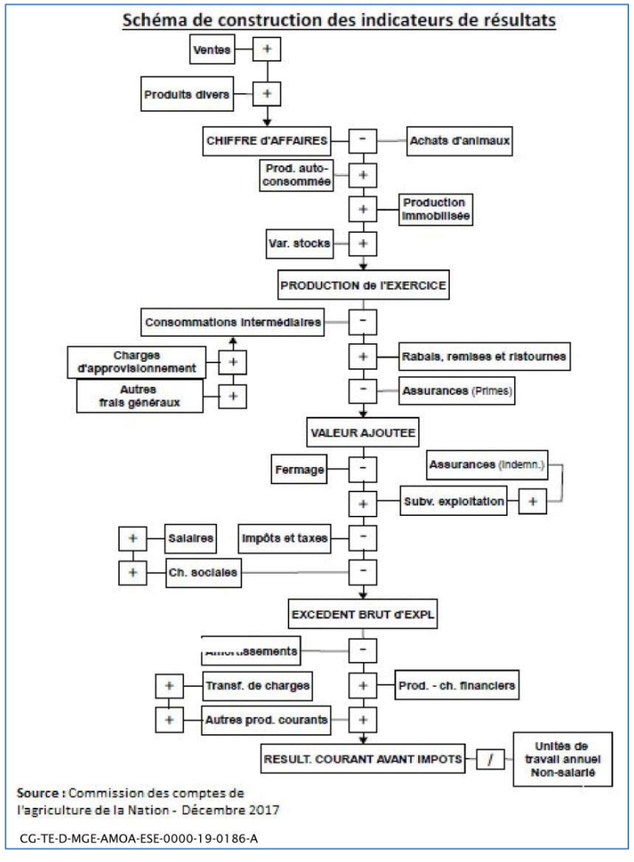


Figure 3.6-3 Schéma de construction des indicateurs de résultats

Le calcul intègre :

- Perte de richesse générée sur l'exploitation ;

  À la perte financière des filières s'ajoute celle relevant de la perte d'activité de l'exploitation agricole avec l'impact pour l'emploi ou l'installation de jeunes agriculteurs et la perte de revenu généré de cette activité.
  - ✓ perte de rémunération du travail (emploi) ;
  - ✓ perte de revenu disponible ;

  Cette perte de valeur ajoutée est évaluée via l'estimation de la Valeur Économique Totale générée sur une surface de référence d'un hectare agricole prélevé au sein de la zone concernée. Le calcul, ramené à l'hectare, est réalisé à l'aide d'indicateur macro-économiques : l'analyse des charges et des recettes contribuant à l'activité d'entreprises d'amont et d'aval d'une exploitation moyenne du secteur concerné ; l'emploi et l'activité directe de l'exploitation.
- Perte de valeur ajoutée pour les filières amont ;
  - ✓ perte de marges sur les intrants,
  - ✓ perte de marges sur les équipements,
  - ✓ perte de marges pour les prestataires de services spécifiques et locaux.
- Perte de valeur ajoutée pour les filières aval ;
  - ✓ perte de marges sur les productions de ventes (animales et végétales),
  - ✓ perte de marges sur la transformation locale,
  - ✓ perte de marges sur le vente directe ou circuits courts.
- Perte de richesse globale ;

  Pour l'évaluation finale, le calcul à l'hectare est :
  - ✓ extrapolé sur l'ensemble de la surface impactée par le projet ;
  - ✓ reproduit sur une période à déterminer.

Le chiffrage final permet d'établir une estimation du préjudice global sur la filière et sur le tissu économique en général. Pour cette expertise, un groupe de travail composé de représentants des Chambres départementales d'agriculture de Meuse, de Haute-Marne, de l'INAO (Institut national de l'origine et de la qualité), de la DRAAF, des DDT s'est réuni à plusieurs reprises pour fixer les hypothèses, les données d'entrée et valider chaque étape de cette évaluation.

3.6.1.2 Hypothèses et données d'entrée

Plusieurs postula et/ou hypothèses ont été posés en fonction du contexte agricole de la zone Cigéo et d'indicateurs technico-économiques fournis par les Chambres d'Agriculture, Centre de gestion, SRISE, France Agrimer, Coop de France, Institut de l'élevage. Les données économiques sont extraites des bases comptables constituées par le centre de gestion agricole (Cerfrance/Adhéo). Ces extractions soumises à plusieurs filtres ont constitué des groupes d'exploitations de référence suffisamment importants pour assoir les résultats statistiques du traitement de données.

L'analyse est établie sur la base des critères suivants :

- Périmètres pour couvrir le territoire concerné des 4 anciens cantons en comparaison à des données départementales :
  - ✓ sud Meuse Barrois (cantons de Ligny-en-Barrois, Ancerville, Montiers-sur-Saulx, Gondrecourt-le-Château), secteur le plus représentatif du territoire concerné par le projet Cigéo,
  - ✓ ensemble du département de la Meuse,
  - ✓ ensemble du département de la Haute-Marne.
- Période de référence :
  - ✓ 7 campagnes étudiées : 2012 à 2018 (afin de couvrir la variabilité des aléas climatiques constatés d'une année à l'autre)

- Systèmes d'exploitation : les 4 plus représentatifs des exploitations du territoire concerné :
  - ✓ système céréales pur
  - ✓ système lait-céréales
  - ✓ système mixte céréales-lait-viande
  - ✓ système viande

3.6.1.3 Perte de richesse sur « l'exploitation »

La perte d'activité de l'exploitation agricole correspond à la perte de rémunération du travail (emploi) et à la perte de revenu disponible :

- **Perte de rémunération du temps de travail sur l'exploitation (emploi) ;**

  La rémunération de l'exploitant agricole est établie à partir des études de coût de revient produites par « Cerfrance Adheo ». Le temps de travail pour chacun des systèmes (en heures par année) intègre les temps directs (temps de travail pour la production) et les temps indirects (temps de travail hors activité de production : gestion administrative, entretien…) comptabilisés. Les résultats sont logiquement courbes de Gauss et permettent d'extraire une moyenne par système de production (cf. Tableau 3.6-1).

Sur la base de rémunération du SMIC horaire, la perte de rémunération du temps de travail est évaluée en **moyenne à** 176 €.ha^{-1}.

Tableau 3.6-1 Perte de rémunération du temps de travail

	Temps et rémunération du travail			
	Temps moyen groupe CR	Unité groupe CR	Nb UTH sud 55	Total heures
Système céréales (h/ha pour 1 UTH)	11,45	127	1,33	1 934
Système lait (h/1 000 L)	9,58	272	2,17	5 654
Système viande (h/VA)	33,88	57	1,67	3 225

	Total heures	SAU	heures/ha	Répartition
Système céréales (h/ha pour 1 UTH)	1 934	172	11,2	47 %
Système lait (h/1 000 L)	5 654	150	37,8	19 %
Système viande (h/VA)	3 225	210	15,4	35 %

Nombre d'heures moyen par ha	17,6	
SMIC (€/h)	10,0 €	
Coût Rémunération travail (€/ha)	176 €	Cotisations exploitants déduites de l'EBE

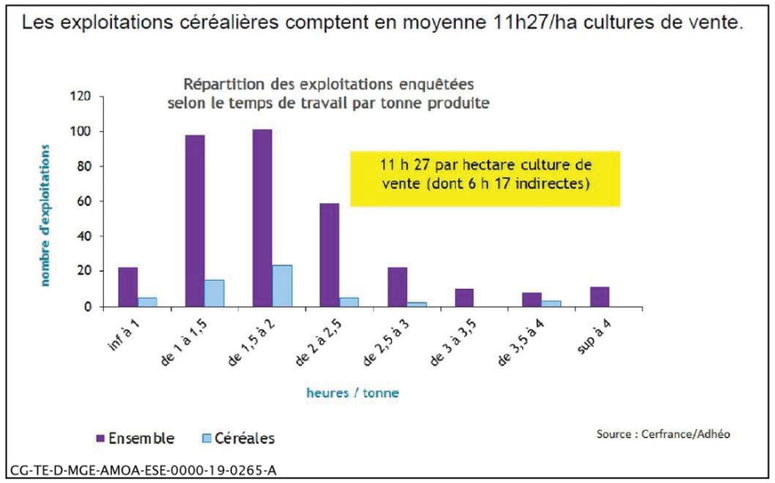


Figure 3.6-4 Temps de travail par hectare de culture de vente

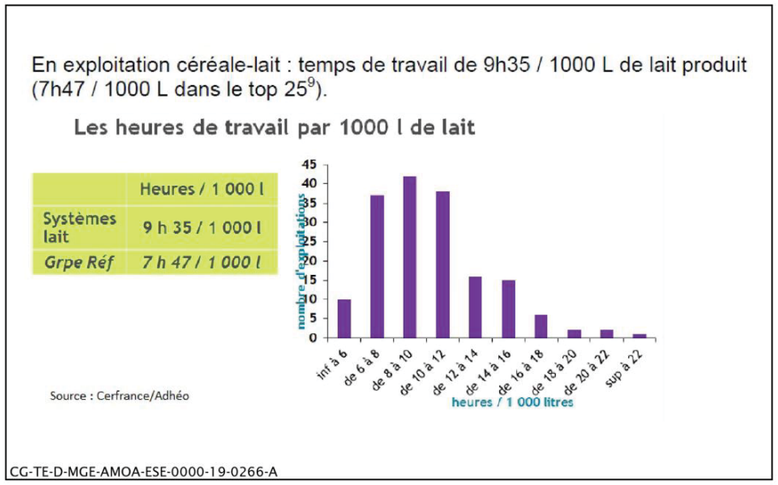


Figure 3.6-5 Temps de travail pour 1 000 L de lait produit

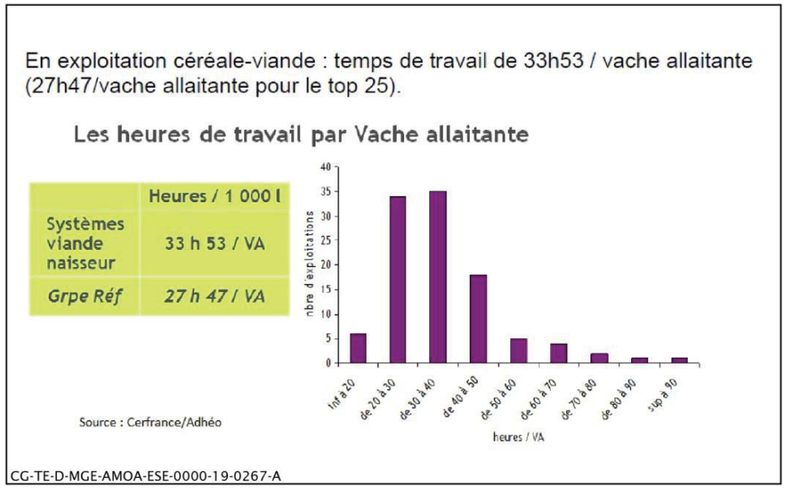


Figure 3.6-6 Temps de travail par vache allaitante

- **Perte de revenu disponible (perte d'exploitation hors rémunération du travail).**
  Parmi les différents indicateurs comptables pour évaluer cette perte : résultat courant, revenu agricole excédent brut d'exploitation (EBE), il a été préféré d'employer le revenu disponible (EBE – annuités d'emprunts) qui exprime mieux la notion de disponible pour rémunérer le travail et les besoins privés de l'exploitant et sa famille, financer les stocks, renouveler l'outil de travail. Cette perte de revenu varie de 154 €.ha^{-1} à 304 €.ha^{-1} en fonction du système d'exploitations avec une valeur moyenne de **193 €.ha**$^{-1}$ tous systèmes confondus.

Tableau 3.6-2 Revenu disponible avec DPU/ha

Méthode du revenu disponible	Revenu disponible avec DPU/ha SAU				
	CEREALES	LAIT	MIXTE	VIANDE	Moyenne
EBE/ha (sud55)	341 €	525 €	483 €	318 €	**375 €**
Annuités/ha (sud55)	169 €	221 €	236 €	164 €	**183 €**
Prorata de la distribution par type d'exploitation	47%	12%	14%	28%	100%
Revenu disponible (sud55) (€/ha)	**172 €**	**304 €**	**247 €**	**154 €**	**193 €**

La perte financière à l'échelle de l'exploitation s'établit à :

- rémunération du travail : 176 €.ha^{-1}
- perte de Revenu disponible : 193 €.ha^{-1}
  - ✓ soit un total de 369 €.ha^{-1}

3.6.1.4 Perte financière pour les filières amont et aval

La perte financière pour les filières amont et aval est estimée à partir de la marge réalisée sur le chiffre d'affaire généré par hectare. La marge habituellement pratiquée varie en fonction des filières. Un taux moyen a été fixé pour chacune d'elles :

- Filière amont :
  - ✓ 20 % de marge sur les intrants et services.
- Filière aval (1er niveau de transformation) :
  - ✓ 23 % de marge sur PA (productions animales) ;
  - ✓ 20 % de marge sur PV (productions végétales).

Le chiffre d'affaire est quant à lui établi à partir de l'ensemble des postes comptables de l'exploitation agricole regroupant d'une part les charges de structure et les charges de production et d'autre part des produits de vente des productions agricoles et d'éventuelles activités accessoires (cf. Tableau 3.6-3).

Tableau 3.6-3 Postes comptables retenus

Filières amont		Filières aval	
Charges de production	Engrais amendements	**Production agricole**	Vente Productions végétales
	Semence et plants		Vente productions animales
	Produits phytosanitaires		Vente Produits transformés
	Aliments du bétail		Vente directe
	Produits et frais vétérinaire		Circuit court
	Frais sur animaux (cotisation, IA…)	**Activités accessoires**	Prestation de service
	Matières premières fournitures		Méthanisation
Charges de structure	Méc. Entretien et réparation, petits matériels		Autres diversifications
	Méc. Travaux par tiers, Cuma		
	Méc. Amortissements économiques		
	Cons. Entr. Et Location		
	Cons. Amortissements économiques		
	Banques, assurances, comptabilités, services		
	Cotisations sociales		
	Fermage		
	Location matériel		
	Frais administratifs		

L'analyse économique des 4 typologies d'exploitation sur 7 campagnes de 2012 à 2018 établit une perte financière moyenne de (cf. Tableau 3.6-4):

- AMONT : soit une perte annuelle moyenne de valeur ajoutée de 249 €.ha^{-1}
- AVAL : soit une perte annuelle moyenne annuelle de valeur ajoutée de 261 €.ha^{-1}
  - ✓ **Soit un total de** 510 €.ha^{-1} pour l'ensemble des filières.

Tableau 3.6-4 Perte financière pour les filières amont et aval

Données sud 55 + dép. 52	Perte pour les filières amont et aval				
	Céréales	Lait	Mixte	Viande	Moyenne
Prorata de la distribution par type d'exploitation (*)	46,7 %	11,8 %	13,5 %	28,0 %	100,0 %
Charges proportionnelles (€/ha)	483 €	759 €	760 €	456 €	545 €
Charges de structure hors main d'œuvre (€/ha)	646 €	893 €	882 €	622 €	700 €
Produit hors primes (€/ha)	1 065 €	1 659 €	1 671 €	1 005 €	1 200 €
Hypothèse de marge filière amont sur ch. op	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Hypothèse de marge filière amont sur ch. structure	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Hypothèse de marge filière aval sur produits	20 %	23 %	23 %	23 %	22 %
Marge filière amont sur charges proportionnelles (€/ha)	97 €	152 €	152 €	91 €	109 €
Marge filière amont sur charges de structure (€/ha)	129 €	179 €	176 €	124 €	140 €
Marge filière aval sur produits (€/ha)	213 €	382 €	384 €	231 €	261 €
Total (€/ha)	439 €	712 €	713 €	447 €	510 €

(*) Le prorata de la distribution par type d'exploitation est établi sur la base de la représentativité des systèmes d'exploitation observés sur l'aire d'étude avec un échantillonnage suffisant pour le traitement statistique.

3.6.1.5 Estimation de la perte financière globale

La perte financière globale annuelle induite par le retrait des terres agricole sous les emprises du centre de stockage Cigéo varie de 777 €.ha^{-1} à 1 192 €.ha^{-1} selon les systèmes d'exploitation pour une valeur moyenne de 879 €.ha^{-1}.an^{-1} (cf. Tableau 3.6-5) :

Tableau 3.6-5 Perte financière induite par le changement de destination des surfaces agricoles

Exploitations Sud Meuse	Perte financière (€/ha/an)				
	Céréales	Lait	Mixte	Viande	Moyenne
Perte financière à « l'exploitation »	348 €	480 €	423 €	330 €	369 €

Exploitations Sud Meuse	Perte financière (€/ha/an)				
	Céréales	Lait	Mixte	Viande	Moyenne
Perte financière directe pour les filières amont	226 €	330 €	328 €	216 €	249 €
Perte financière directe pour les filières aval	213 €	382 €	384 €	231 €	261 €
Perte financière à « l'exploitation »	348 €	480 €	423 €	330 €	369 €
Prorata de la distribution par type d'exploitation	47 %	12 %	14 %	28 %	100 %
Perte économique annuelle totale à l'hectare	787 €	1 192 €	1 136 €	777 €	879 €

3.6.2 Incidences économiques induites par les mesures compensatoires environnementales

Pour répondre aux besoins de compensation environnementale des milieux ouverts, des mesures en faveurs de la biodiversité ont été définies et proposées pour être mises en œuvres sur des surfaces agricoles (cf. Chapitre 2.5.6 du présent document).

Catalogue des mesures retenues :

- MC-P1 : recréation de prairies et/ou pelouses (à partir de terres arables ou de friches post-culturales) ;
- MC-P2 : restauration de prairies permanentes naturelles diversifiées ;
- MC-P3 : restauration de pelouses calcicoles dégradées ;
- MC-P4 : maintien à très long terme et gestion conservatoire de prairies permanentes ;
- MC-C1 : passage en agriculture biologique pour les grandes cultures conventionnelles ;
- MC-C2 : passage en agriculture sans labour (agriculture de conservation) avec couvert obligatoire diversifié, Passage en agriculture sans labour (agriculture de conservation) avec couvert obligatoire diversifié ;
- MC-C3 : création de jachères longue durée (5 ans) d'une prairie (3 ans) avec une gestion extensive ;
- MC-S1 : création ou restauration de haies pluristratifiées (> 2 m de largeur, 5 m retenu) ;
- MC-S2 : mise en place de bandes enherbées permanente en lisières ou en pied de haies (> 5 m de largeur, 5 m retenu).

La mise en œuvre de ces mesures environnementales induira une modification des pratiques agricoles (assolement, rotation culturale, itinéraire technique) selon un cahier des charges fixé pour chaque mesure et conduisant à une gestion extensive des cultures et des prairies. Ces changements auront des conséquences économiques sur plusieurs postes :

- charges en agrofourniture ;
- charges de mécanisation ;
- charges main d'œuvre (temps de main d'œuvre) ;
- produits (rendement x prix unitaire).

À partir des références technico-économiques disponibles en région (Chambre Régionale d'agriculture de Lorraine, Arvalis Institut du Végétal, CGA[28] de Lorraine, INRA[29]), une évaluation de l'incidence économique est établie à la surface par mesure environnementale retenue en fonction de l'état initial du parcellaire. Cette évaluation repose sur la comparaison de 4 systèmes de cultures. (cf. Annexe 3 – Tableau 1) :

- agriculture conventionnelle avec labour (Labour) ;
- agriculture en techniques culturales simplifiées (TCS) ;
- agriculture de conservation (semis-direct : SD) ;
- agriculture biologique.

Pour chaque système de culture, une évaluation de l'incidence économique est établie selon la même méthode développée au chapitre 3.6.1 du présent document. Pour cette évaluation, le système de culture de référence est celui de type labour actuellement pratiqué sur les sites de compensation (cf. Annexe 3 – Tableau 2). Pour chaque mesure environnementale associée à un système de culture, il est possible d'établir l'incidence financière qu'elle représente pour les filières d'une part et pour l'exploitation d'autre part. Pour établir cette estimation à l'hectare, il est appliqué une marge de 20 % sur les charges (intrants et mécanisation) et les produits. La totalité de la marge nette et le coût de la main d'œuvre sont également intégrés.

Pour la mesure MC-C3 intégrant une jachère sur une période de 5 ans suivie d'une prairie temporaire sur 3 ans, le cycle de calcul a été établi sur une période de 8 ans. Concernant les systèmes prairiaux, il a été retenu un cycle de renouvellement ou d'entretien des prairies tous les 4 ans

Pour chaque site, l'incidence financière des mesures environnementales a été établie en fonction de l'état initial agricole des parcelles et des surfaces retenue cf. Annexe 3 – Tableau 3). La plupart de ces mesures génère une moins-value économique à l'exception de celles appliquées sur le site de Lamorville (52,2 ha) qui n'est plus exploité depuis 2006. Son intégration dans ce programme de mesures compensatoires environnementales assure sa remise en exploitation avec de nouvelles productions agricoles.

Au global, l'incidence économique de ces mesures environnementales pour les filières et l'exploitation est évaluée à une perte annuelle de valeur ajoutée d'environ 16 600 €.an^{-1} (cf. Tableau 3.6-6). Les surfaces agricoles de compensation environnementale localisées sur la zone de descenderie (9 ha sur prairie et 18 ha de culture) sont affectées aux emprises du projet.

[28] CGA de Lorraine : Créé en 1975 par des paysans bio pour les paysans, le Centre des Groupements des Agrobiologistes de Lorraine œuvre pour le développement de l'agriculture biologique

[29] INRA : L'Institut national de la recherche agronomique était un organisme français de recherche en agronomie existant de 1946 à 2019. L'institut fusionne le 1er janvier 2020 avec l'IRSTEA (L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) pour former l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE)

Tableau 3.6-6 Incidence financière annuelle des mesures environnementales

Incidence financière annuelle des mesures environnementales en fonction de l'occupation des sols de l'état initial	Surface	Incidence de la mesure	Total	Valeur ajoutée
1 – Sur parcelles agricoles non exploitées	**(ha)**	**(€/ha)**	**(€)**	
MC-P1 (Recréation de prairie/Pelouse)	52,2	307 €	16 025 €	Plus-value
MC-P3 (Restauration de pelouse calcicole dégradée)	2,9	0	0	/
2 – Sur des parcelles de prairies	**(ha)**	**(€/ha)**	**(€)**	
MC-P2 (Restauration de prairie)	7,2	-0 €	0 €	/
MC-P4 (Gestion conservatoire)	7,0	- 286 €	-2 005 €	Moins-value
3 – Sur des parcelles cultivées	**(ha)**	**(€/ha)**	**(€)**	
MC-P1 (Recréation de prairie/Pelouse)	14,2	-625 €	-8 875 €	Moins-value
MC-C1 (Conversion en agriculture biologique)	35,0	-282 €	-9 878 €	Moins-value
MC-C2 (Conversion en agriculture conservatoire)	38,6	-50 €	-1 930 €	Moins-value
MC-C3 (Jachère longue et prairie temporaire)	7,5	-1 150 €	-8 671 €	Moins-value
MC-S1 (Aménagement de haies)	0,5	-770 €	-373 €	Moins-value
MC-S2 (Aménagement de bandes enherbées)	1,1	-770 €	-826 €	Moins-value
Total	**166**		**-16 534 €**	**Moins-value**

3.6.3 Incidences économiques pour les productions sous SIQO, la qualité et l'image des productions agricoles

Comme présenté dans les chapitres précédents, plusieurs aires de productions agricoles sous SIQO (Signe officiel d'Identification de la Qualité et de l'Origine) sont directement concernées par les emprises du centre de stockage Cigéo. Parmi ces productions, il s'agit essentiellement celle de la production laitière potentiellement destinée à la production fromagère sous appellation AOC-AOP Brie de Meaux et/ou IGP Emmental français Est-Central.

Les incidences du centre de stockage Cigéo sont évaluées à différents niveaux :

- incidence de la réduction des aires d'appellation et filière ;
- incidence pour le respect du cahier des charges de production ;
- incidence sur la qualité des produits et leur image.

3.6.3.1 Réduction des aires d'appellation

Les emprises agricoles définitives pour le centre de stockage Cigéo sont évaluées à environ 320 ha auxquelles peuvent s'ajouter une marge d'incertitude de 68 ha qui bordent les aménagements linéaires (ITE et LIS).

Bien que l'ensemble des exploitations concernées par ces emprises aient conservé leur surface agricole par le jeu des échanges réalisés dans le cadre de la compensation foncière et par la même le niveau de production végétale, animale dont laitière ; il n'en demeure pas moins que les périmètres des deux

appellations AOC-AOP Brie de Meaux et/ou IGP Emmental français Est-Central ont été amputés par ces emprises.

Au regard de la surface de ces deux aires d'appellation :

- AOP/AOC Brie de Meaux : 1,65 millions d'hectares ;
- IGP Emmental Français Est-Central : 7,35 millions d'hectares.

Les emprises du centre de stockage Cigéo représentent une part limitée de l'aire d'appellation du Brie de Meaux et très limitée de celle de l'Emmental Français Est-Central. Compte-tenu de cette très faible incidence sur le dimensionnement des aires d'appellation, leur viabilité économique n'est pas remise en cause.

Cependant, la perte de SAU bien que prise en compte dans la perte économique globale pour les filières et l'exploitation impute également le potentiel de production laitière sous appellation. Afin d'en évaluer la conséquence financière, une estimation est établie à partir de la production laitière moyenne à l'hectare affecté de la différence de prix d'achat entre le prix du lait conventionnel à teneurs réelles et celui du lait AOP/IGP (cf. Figure 3.6-7).

Sachant que la production laitière moyenne par hectare de SAU d'un système d'exploitation de grandes cultures et lait est établie à environ 2 000 L.ha^{-1} et que l'écart moyen du prix de vente du lait AOP/IGP est majoré de 70 €/1 000 L (exemple de l'AOP-AOC Brie de Meaux + 70 € pour 1 000 L avec le nouveau cahier des charges) à celui d'un prix de vente du lait standard à 350 €/1 000 L conduit à un manque potentiel de gain d'environ 70 € pour 1 000 L soit 140 €.ha^{-1}.an^{-1}.

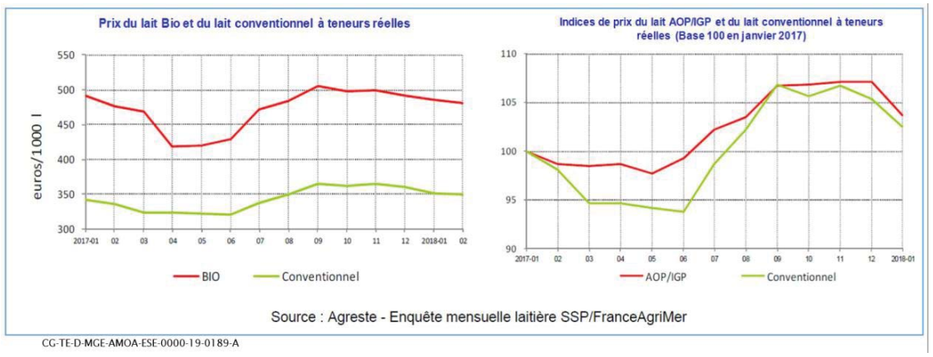


Figure 3.6-7 Indices du prix du litre de lait

3.6.3.2 Respect du cahier des charges pour les producteurs

Pour les producteurs laitiers sous appellation, un cahier des charges nouvellement établi leur impose plusieurs conditions de production fixant pour certaines d'entre-elles des modalités d'alimentation et le paillage des logements en lien avec les ressources des productions végétales de l'exploitation.

Dans le cas du cahier des charges Brie de Meaux, ces mesures spécifiques fixent entre autres :

- au minimum 85 % de la matière sèche de la ration totale du troupeau laitier doit provenir de l'aire géographique, dont au minimum 60 % de l'exploitation elle-même ;
- pour les vaches laitières en production mises au pâturage, cette règle des 3 constituants ne s'applique pas à condition de respecter les conditions suivantes :
  - ✓ période de pâturage : les vaches laitières en production sont mises au pâturage au minimum 150 jours par an. La surface par vache laitière au pâturage est d'au moins 20 ares ;

  - ✓ en dehors de la période de pâturage : la ration de base comprend au minimum 3 kg de matière sèche à base d'herbe. L'aliment principal ne peut dépasser 70 % de la ration de base, en matière sèche, sauf s'il s'agit d'herbe ;
- logement : le recours à la paille pour le couchage est obligatoire avec une quantité minimum pendant la période de stabulation intégrale de :
  - ✓ 0,5 kg en moyenne par jour et par vache laitière en production pour le système logette ;
  - ✓ 5 kg en moyenne par jour et par vache laitière en production pour le système stabulation libre ;
  - ✓ la paille doit être stockée à l'abri ;
- les génisses doivent pâturer au minimum 5 mois entre le sevrage et le vêlage dans l'aire d'appellation.

Pour toutes ces mesures dépendantes de la surface agricole de l'exploitation et de son assolement, l'abandon de parcelles sous emprises Cigéo aurait pu être pénalisant. Compte-tenu que tous les éleveurs laitiers ont été compensés par des surfaces au moins équivalentes sur leur commune d'origine ou dans une commune de proximité sous appellation, l'application du cahier des charges l'AOC Brie de Meaux ne serait pas pénalisée.

3.6.3.3 Incidence sur la qualité des productions et leur image

La préservation de la qualité de productions agricoles et la protection de leur image à proximité d'un projet industriel tel que Cigéo est un enjeu majeur pour lequel le maître d'ouvrage a anticipé l'élaboration d'un état de référence sur plus de dix ans à partir de suivis environnementaux.

Des campagnes d'échantillonnage des sols, des productions agricoles (céréales, foin, grain, œufs, viande et lait) et de transformation (fromage) sont menées régulièrement afin d'effectuer des analyses complètes de micropolluants et radiologiques sur ces matrices. Tous ces échantillons sont actuellement conservés à l'état sec à +18°C, en surgélation à -80°C ou en cryogénisation à -170°C selon la matrice dans une infrastructure dédiée appelée Écothèque construite sur le site (cf. Figure 3.6-8). Cette banque d'échantillons garantit la mémoire de l'état environnemental avant même le début du chantier et de la mise en exploitation du centre de stockage Cigéo. Elle apporte l'assurance aux exploitants agricoles d'être en capacité de faire état de la qualité de leur production pour en protéger l'image.



Figure 3.6-8 Illustrations de l'écothèque

Pour les productions sous SIQO en particulier celles des deux appellations fromagères qui sont associées à une aire de production et donc à un terroir, toute activité industrielle implantée sur ce terroir peut générer un risque d'atteinte à l'image de ces productions et à une possible délocalisation. En effet, la fromagerie Renard-Gillard a également un deuxième de site de production de Brie de Meaux à COURTENAY (dép.45) au sud-Ouest de la région parisienne à plus de 200 km des futures installations du centre de stockage Cigéo, la fromagerie de Raival fait partie du groupe Lactalis qui possède également d'autres unités de production en zone d'appellation Brie de Meaux.

Cependant, le centre de stockage Cigéo est localisé à la périphérie des deux appellations AOC-AOP Brie de Meaux et/ou IGP Emmental français Est-Central. Bien que la production des trois industriels fromagers sous appellation AOC-AOP Brie de Meaux localisés en Meuse représente plus de 70 % de la production nationale, la collecte de lait s'effectue sur un vaste territoire non concerné par le centre de stockage Cigéo (cf. Figure 3.6-9). Cette implantation limite fortement l'impact de sa présence sur leur image. Toutefois une vigilance sera maintenue et associée à un suivi de la qualité des productions.

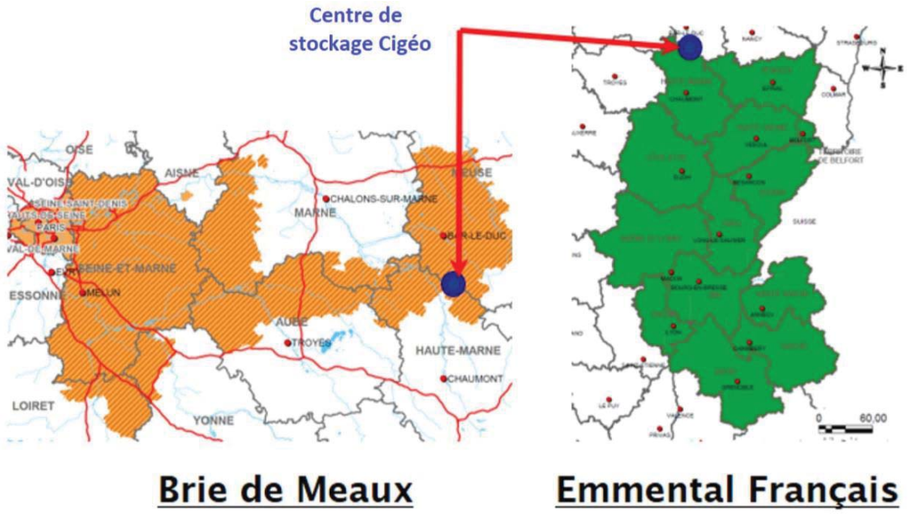


Figure 3.6-9 Localisation du centre de stockage Cigéo sur les aires d'appellation

Pour toutes les productions agricoles, les enjeux liés à la surveillance de la qualité des productions et à la protection de leur image sont importants. Ils ne peuvent faire l'objet d'une évaluation économique dans le cadre de l'étude préalable agricole en raison du caractère hypothétique du risque et de l'impossibilité de déterminer par anticipation les préjudices potentiels.

Pour autant des mesures ont été entreprises dès 2008 avec l'Observatoire Pérenne de l'Environnement qui assure un suivi de la qualité de l'environnement dont des productions agricoles avant même les suivis réglementaires mis en place pour le centre de stockage Cigéo. Depuis 10 ans, l'Observatoire Pérenne de l'environnement a constitué un état de référence analytique et une banque d'échantillons composée de plusieurs matrices d'origine agricole (sol, productions végétales, productions animales, produit agroalimentaire) conservé dans une structure dédiée appelée Écothèque. En cas de détection d'un polluant sur l'une ou l'autre de ces matrices, il sera possible de la comparer à l'état de référence et d'entreprendre des analyses complémentaires. Ce dispositif et ces outils sont une des réponses apportées à la surveillance de ces enjeux agricoles.

En cas d'atteinte avérée à la qualité ou à l'image des productions agricoles il sera donc possible d'en déterminer l'origine qui pourra conduire à des mesures de réparation des préjudices dans le cas d'une responsabilité avérée du centre de stockage Cigéo.

3.6.4 Incidence économique globale

Malgré la mise en œuvre de mesures d'évitement et de réduction en particulier par le choix des zones d'implantation mais également via les nombreuses opérations foncières menées à l'amiable pour maintenir les unités de production à l'échelle individuelle, il n'en demeure pas moins que le centre de stockage Cigéo impactera l'économie agricole.

Une évaluation des effets induits par le changement d'usage des surfaces agricoles sous emprises, la mise en œuvre des mesures compensatoires environnementales et par la présence d'un projet industriel au cœur d'un bassin de production agricole a établi une incidence financière négative pour l'économique agricole.

Cette estimation repose sur une évaluation annuelle de la perte de marge pour les filières amont et aval ajoutée celle de la perte de rémunération de la main d'œuvre et de résultat à l'échelle de l'exploitation induites par le retrait de surface agricole et par le changement des pratiques agricoles nécessaires aux mesures compensatoires environnementales.

3.6.4.1 Perte financière induite par la perte de surface agricole et la réduction des aires d'appellation AOP-AOC-IGP (SIQO)

Les pertes financières induites par le changement d'usage des sols agricoles ont été estimées et rapportées à l'hectare exploité :

Perte financière à l'hectare induite :

- par la perte de SAU pour l'activité agricole et les filières : - 879 €.ha^{-1}.an^{-1}
- par la réduction des aires d'appellation AOC-AOP-IGP (SIQO) : -140 €.ha^{-1}.an^{-1} ;

Surfaces agricoles concernées :

Les surfaces potentiellement concernées par le projet global Cigéo peuvent varier de 347 ha à 415 ha selon les incertitudes de certains aménagements linéaires et le choix définitif d'implantation de certaines infrastructures (cf. Tableau 3.6-7).

Tableau 3.6-7 Emprises foncières agricoles du projet Global Cigéo

Installations	Emprises agricoles	
	Emprise minimale (ha)	Emprise maximale (ha)
Emprise agricole des installations de surface du centre de stockage Cigéo (+ marge d'incertitude 68 ha)	320	388
Poste RTE 400 kV et Ligne 400 kV	6	
Déviation route départementale D60/960	9	
Rétablissements L027000	9	
Réseau d'adduction d'eau	1	
Opération de caractérisation et surveillance	2	
Total	347	415

3.6.4.2 Perte financière induite par les mesures compensatoires environnementales

Les Pertes financières induites par les mesures compensatoires environnementales ont été estimées sur l'ensemble des surfaces en exploitation (hors compensations environnementales des milieux ouverts en zone descenderie déjà comptabilisés dans les emprises d'installation) :

Surfaces agricoles concernées :

- surfaces agricoles de compensation des milieux prairiaux (Hors ZD) : 45 ha
- surfaces agricoles de compensation des milieux cultivés (Hors ZD) : 121 ha

Total de 166 ha

Perte financière :

- évaluation de l'incidence économique pour les mesures compensatoires environnementales sur les surfaces agricoles : **-16 600 €.an^{-1}**.

3.6.4.3 Estimation de la perte financière globale annuelle

Soit un total de perte financière pour le projet global Cigéo évalué de 370 193 €.an^{-1} à 439 485 €.an^{-1} en fonction des emprises foncières définitives (cf. Tableau 3.6-8).

Tableau 3.6-8 Estimation annuelle de la perte financière pour les activités agricoles du territoire

Incidences	Estimation perte annuelle	Hypothèses sur la surface agricole impactée		Montant estimé	
		minimale	maximale	minimal	maximal
Perte de richesse sur l'exploitation	369 €/ha	347	415	128 043 €	153 135 €
Économie des filières	510 €/ha	347	415	176 970 €	211 650 €
Réduction périmètre AOC-AOP-IGP (SIQO)	140 €/ha	347	415	48 580 €	58 100 €
Modification des pratiques agricoles pour les mesures environnementales	100 €/ha	166		16 600 €	
Total				**370 193 €**	**439 485 €**

Cette perte financière annuelle qui relève de la responsabilité de l'Andra devra par conséquent faire l'objet d'une compensation pour générer une nouvelle valeur ajoutée agricole au plus proche de la zone d'impact tout en intégrant le temps nécessaire à cette reconstitution.

Le mode de compensation peut prendre différentes formes selon le contexte agricole. Elle nécessite au préalable une concertation de l'ensemble des acteurs agricoles du développement, de la production, de la collecte et de la transformation. S'agissant d'une compensation collective, elle doit être fédératrice et s'inscrire dans une dynamique de territoire afin de valoriser toutes les opportunités de mise en œuvre.

Au-delà de l'évaluation de la « dette » économique, la mise en œuvre de la compensation ne peut être effective que si elle est partagée et soutenue.

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Étude des effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire

Synthèse : 3 - Étude des effets positifs et négatifs du projet sur l'économie agricole du territoire

Malgré les mesures d'évitement et de réduction engagées dès la conception du projet Cigéo, son dimensionnement et son implantation dictée par des contraintes géologiques dont dépendent les installations de surface n'ont pas permis d'éviter tous les effets du projet pour l'économie agricole du territoire.

Ces effets résiduels ont fait l'objet d'une évaluation afin d'estimer les conséquences économiques du projet global Cigéo pour l'ensemble des opérateurs de la filière agricole.

Ces effets résiduels sont essentiellement liés au retrait définitif des surfaces agricoles sous les emprises du projet global Cigéo, à la réorientation de surfaces agricoles pour des mesures compensatoires environnementales et à la perte potentielle de développement de production sous SIQO.

- La perte économique induite par le retrait de surface agricole repose d'une part sur la perte de revenu disponible et de rémunération du travail à l'échelle de l'exploitation et d'autre part sur l'estimation de la perte de valeur ajoutée pour les filières amont/aval. Cette estimation établie sur la base d'une expertise comptable des systèmes d'exploitation représentatifs de la zone d'intervention potentielle conduit à une perte financière à l'hectare de 879 €.ha^{-1}.an^{-1}. Cette perte à l'hectare est appliquée à l'ensemble de la surface concernée qui peut varier de 347 ha à 415 ha en fonction des emprises définitives.
- La mise en œuvre de mesures compensatoires environnementales sur des surfaces agricoles au bénéfice de la biodiversité des milieux ouverts induit une modification des pratiques agricoles mise en œuvre par des exploitants dans le cadre de baux ruraux environnementaux. De par la nature de ces mesures, la valeur ajoutée dégagée sur ces surfaces par les filières sera revue à la baisse. Une estimation de ces incidences financières a été établie pour chaque mesure en comparaison à un référentiel technico-économique régional. L'ensemble de ces mesures générera une perte financière évaluée à 16 600 €.ha^{-1}.an^{-1}.
- Pour protéger l'image et la qualité des productions agricoles à proximité du centre de stockage Cigéo, l'Observatoire Pérenne de l'Environnement assure un suivi de l'environnement qui intègre différentes composantes agricoles (sol, productions végétales, productions animales et produits agroalimentaires). Toutes les mesures de protection de l'environnement sont mises en œuvre dans la conception du centre de stockage Cigéo. Dans le cadre de cette évaluation des enjeux agricoles, seule la réduction des aires d'appellation pour les AOC-AOP et IGP fromagères liée au retrait de surfaces agricoles peut induire une perte du potentiel de production et par la même celle d'une valorisation supplémentaire. Cette dernière est évaluée sur la base de la majoration de prix pratiquée pour les productions laitières sous appellation. A raison d'une production laitière moyenne de 2 000 l.ha^{-1} et d'une majoration de prix de 70 €.1000 l^{-1}, l'incidence financière s'établit à un manque à gagner de 140 €.ha^{-1} appliquée à la surface concernée.

Le cumul de l'ensemble des pertes financières pour l'économie agricole induites par le projet global Cigéo s'élève de 370 193 €.an^{-1} à 439 485 €.an^{-1} en fonction des emprises foncières définitives.

4

Mesures d'évitement et de réduction des effets négatifs du projet

4.1	Mesures d'évitement	192
4.2	Mesures de réduction	207
4.3	Mesures envisagées non retenues	221
4.4	Synthèse des principales mesures d'évitement et de réduction	221

Afin d'éviter et de limiter les effets négatifs du projet global Cigéo sur l'économie agricole du territoire, des mesures d'évitement et de réduction sont conduites à différentes étapes du projet avec, pour certaines d'entre elles, la collaboration de la profession agricole et des filières.

4.1 Mesures d'évitement

4.1.1 Choix d'implantation des installations de surface

La localisation de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) se justifie principalement par des critères techniques et géologiques liés à la protection de l'homme et de l'environnement. Dès le début de la recherche de la meilleure ZIOS, l'Andra a mené en parallèle un processus progressif pour identifier les parties du territoire les mieux à même d'accueillir les installations de surface du centre de stockage.

Dès les premières études visant à identifier et comparer différents sites pour l'implantation de ses installations, l'Andra a pris en compte parmi les éléments de sélection, l'activité agricole de la zone envisagée afin d'éviter les incidences de ses installations de surface lorsque c'était possible.

En effet, l'implantation des installations de surface de Cigéo a été fait l'objet d'une analyse multicritères comprenant des contraintes géologiques, de conception, de sureté, des enjeux socio-économiques, des critères environnementaux et d'infrastructures de transport. Ces critères ont été partagés avec les évaluateurs (ASN, IRSN et, CNE) et présentés pour avis aux acteurs locaux dans le cadre d'une démarche d'information et de dialogue.

En 2009, l'Andra a étudié 12 zones potentielles d'implantation pour les installations de surface (ZIIS). Ces zones ont été analysées en prenant en compte en particulier (cf. Figure 4.1-1) :

1. Des contraintes environnementales ou liées à la sûreté nucléaire :
   - ✓ à distance des zones urbanisées ;
   - ✓ en dehors des périmètres de protection rapprochée des captages d'alimentation en eau potable (AEP) existants ;
   - ✓ hors des zones inondables et des périmètres entourant les monuments historiques ;
   - ✓ hors des zones naturelles protégées ;
   - ✓ en dehors des zones de survol à basse altitude (risques liés à la chute d'avion) ;
   - ✓ à distance d'installations industrielles, de grands parcs éoliens, et de voies de communication susceptibles de présenter des risques pour les installations nucléaires de Cigéo.
2. Des contraintes d'implantation :
   - ✓ superficie : l'estimation des emprises des zone descenderie et zone puits conduit à retenir des installations de surface dont l'emprise est supérieure à 200 hectares ;
   - ✓ zone puits au droit de la zone retenue pour l'implantation de l'installation souterraine pour permettre des liaisons directes et **zone descenderie** implantée dans un rayon d'environ cinq kilomètres par rapport à la **zone puits** pour permettre le raccordement de l'installation souterraine *via* la descenderie ;
   - ✓ des critères topographiques.

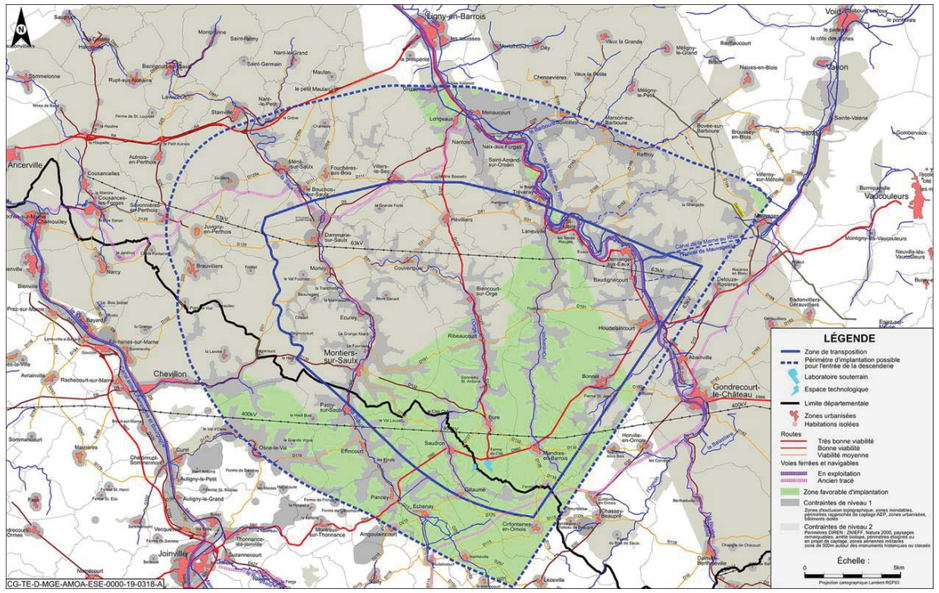


Figure 4.1-1 *Carte de synthèse des contraintes pour implanter les installations de surface (2009)*

Ces ZIIS ont été soumises au dialogue avec les acteurs locaux en parallèle des échanges sur l'implantation de la ZIRA en 2009. Les acteurs locaux ont exprimé des demandes fortes en termes d'aménagement du territoire pour réduire les nuisances pour les populations et pour favoriser le développement économique et social. Les points ressortis de ces échanges, notamment reliés par le CLIS, qui impactent directement le choix du lieu d'implantation des installations de surface sont les suivants :

- valoriser le potentiel des infrastructures de transport existantes ;
- préserver le cadre de vie et veiller à l'insertion environnementale ;
- limiter les nuisances pour les populations et favoriser le développement des transports ferroviaires et fluviaux ;
- protéger les eaux de surface et souterraines ;
- veiller à l'insertion des verses (déblais de Callovo-Oxfordien produit par le creusement des infrastructures de stockage).

De plus, une demande précise s'est exprimée concernant l'implantation de la zone descenderie. Les acteurs locaux ont souhaité que l'entrée de la descenderie soit positionnée dans une zone limitrophe de la Meuse et de la Haute-Marne.

Prenant en compte ces différentes contraintes, un scénario d'implantation de la zone descenderie et trois scénarios d'implantation distincts de la zone puits ont été envisagés et présentés lors du débat public de 2013 (cf. Figure 4.1-2).

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Mesures d'évitement et de réduction des effets négatifs du projet

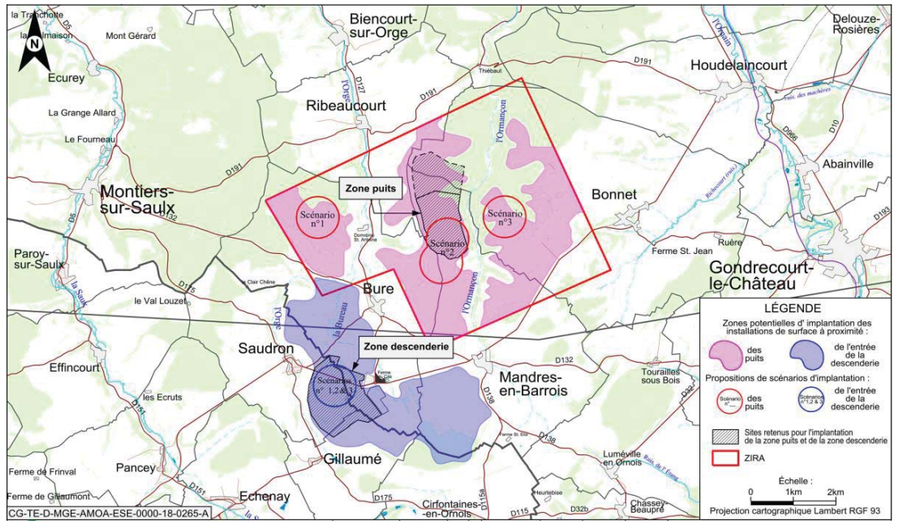


Figure 4.1-2 *Proposition de scénarios d'implantation des installations de surface de la zone puits*

L'implantation de la zone descenderie devant être localisée à la limite des départements de Meuse et de Haute-Marne et à une distance d'environ 5 km des installations souterraines, s'est alors rapidement orientée à l'ouest du Laboratoire souterrain en limite des communes de Bure et de Saudron.

Le 04 février 2013, le CHN[30] a validé l'implantation de la zone descenderie. Ce choix d'implantation de la zone descenderie impliquait des emprises importantes sur des surfaces agricoles. Lors des échanges avec les différents acteurs locaux, il est rapidement apparu qu'une implantation équilibrée entre des terrains agricoles et forestiers était souhaitée et donc à privilégier pour le choix de la zone puits en zone boisée.

À l'issue du débat public de 2013, considérant les nombreuses expressions des acteurs locaux (élus, collectivités, entreprises, syndicats, organisations professionnelles, associations…) relatives au développement, à l'aménagement et à la préservation du territoire, l'Andra a réaffirmé son engagement, dans le cadre de sa politique de responsabilité sociétale et environnementale (RSE), notamment de veiller, en vue d'une bonne insertion du projet dans le territoire, à ce que la conception, la construction et l'exploitation de Cigéo, limitent les impacts sur l'homme et l'environnement et respectent la qualité de la vie locale. L'Andra a poursuivi ces études de conception dans cette optique en vue de finaliser notamment le choix de l'implantation de la zone puits.

Parmi les 3 scénario envisagés, le scénario 2, a été retenu par l'Andra comme le scénario de référence pour l'implantation des installations. Il respecte l'équilibre des implantations sur des terres agricoles (zone descenderie) et zones forestières (zone puits). Il optimise les besoins en infrastructures et équipements et permet l'éloignement des espaces sensibles et des zones habitées, l'évitement de traversées de cours d'eau minimisant ainsi les impacts sur l'environnement et sur la santé humaine.

Les dépôts de matériaux extraits sont implantés au plus près des installations permettant d'optimiser les transferts. Toutefois et afin d'éviter des emprises foncières agricoles nécessaires au stockages des matériaux excavés de l'installation souterraine (10 millions de m³). Seuls 10 % sont extraits depuis la

[30] CHN : Le Comité de Haut Niveau (CHN), présidé par le Ministre chargé de l'énergie, a un rôle de suivi du centre de stockage Cigéo. Sous l'égide d'un préfet coordonnateur du projet global Cigéo, il réunit les représentants de Meuse et de Haute-Marne (parlementaires, présidents des conseils généraux, préfets et administrations, l'Andra et les producteurs de déchets).

zone descenderie en début de construction, le reste étant évacué via les puits. C'est environ 180 ha qui seront dédiés au dépôt de ces matériaux (verse) au sein de la zone puits en milieu boisé.

40 % du volume sera réutilisé (« verses vives ») pour le remblayage des galeries lors des opérations de fermeture, ce qui implique de positionner les verses au plus près du centre de stockage Cigéo.

Concernant les verses non utilisées (« verses mortes »), il n'existe pas à ce stade de solution alternative de gestion des matériaux extraits dont la faisabilité soit assurée autre que le dépôt local. Des études complémentaires sont en cours afin d'examiner la possibilité de réutilisation de tout ou partie des argilites qui ne seraient pas nécessaires pour la fermeture de Cigéo. La recherche de solutions alternatives est cependant rendue difficile par la date lointaine de disponibilité des verses concernées (quelques décennies), une extraction non continue (par phases en lien avec le déploiement progressif de l'installation souterraine) et par diverses autres contraintes techniques liées à la qualité des matériaux.

Ce processus de définition d'implantation des zones d'installation de surfaces dicté par les contraintes géologiques des installations souterraines a conduit à un équilibre des emprises sur les surfaces agricoles et forestières en orientant la zone puits exclusivement en zone boisée. Cette volonté d'éviter des emprises agricoles pour l'installation de la zone puits a conduit le projet à modifier l'architecture de ses aménagements afin d'exclure 25 ha de surface agricole au sud de son périmètre.

Effets résiduels

C'est l'implantation de la zone descenderie qui induit la majeure partie de la perte de terres agricoles. Cependant, la zone retenue s'inscrit principalement sur des sols peu profonds et pierreux présentant un potentiel de production limitée (cf. Chapitre 2.4.2 Contexte pédologique).

Plusieurs aires sous label de qualité SIQO (Signe Officiel d'Identification de la Qualité et de l'Origine), comme présenté dans le chapitre 2.4.5 Productions SIQO sont concernées par les zones d'intervention potentielle du projet global Cigéo. Toutefois, le positionnement de la zone descenderie évite le cœur de ces aires labélisées. Enfin, aucune des nouvelles installations du projet global n'affecte de vignoble existant.

4.1.2 Choix d'implantation des aménagements linéaires

4.1.2.1 La liaison intersites

Pour assurer le transport des matériaux entre les deux zones d'installations (zone descenderie et zone puits) et l'accès des personnels à la zone puits, la solution d'une liaison intersites a été mise en concertation.

Afin de prendre en compte les demandes exprimées lors du débat public confirmées par la délibération du Conseil Départemental de la Meuse du 17 décembre 2015 (5) précisant que « le trafic d'engins de chantier et de matériaux entre les zones puits et descenderie devra se faire sans emprunter les routes départementales », une liaison dédiée entre ces zones a été étudiée.

Plusieurs solutions techniques ont été examinées :

- piste routière de chantier (en enrobé), avec transport par poids lourds et/ou tombereaux ;
- bande transporteuse semi-enterrée ;
- bande transporteuse aérienne, ou transport par câble ;

Ces scénarios ont été présentés dans le cadre d'une concertation avec les communes concernées, menée par l'Andra sur 2016-2017. La liaison inter sites correspondant à la solution comprenant un convoyeur à bande transporteuse semi-enterrée avec piste poids lourds associée et un accès pour les véhicules légers en particulier des personnels a été retenue (cf. Figure 4.1-3).

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Mesures d'évitement et de réduction des effets négatifs du projet

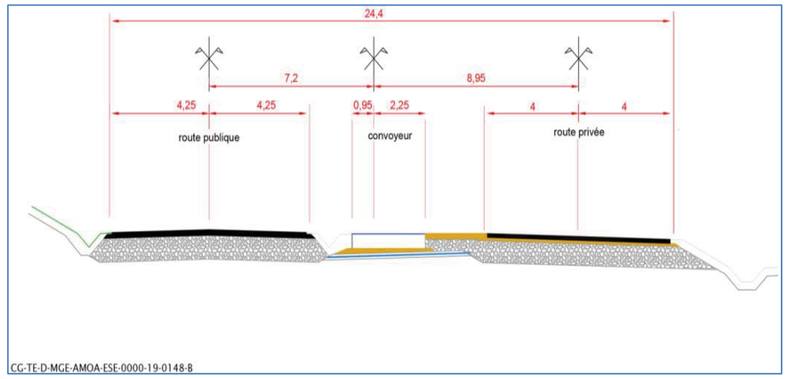


Figure 4.1-3 Illustration d'un profil type de la liaison intersites

Cette solution présente en effet l'avantage de réduire les impacts sur l'environnement et la santé en limitant les émissions de poussières induites par les matériaux et les véhicules, les nuisances sonores et les impacts paysagers notamment au regard de la solution proposant une installation aérienne. Cette solution permet d'optimiser d'une part l'emprise nécessaire à ces liaisons (bande transporteuse, piste et routières) et d'autre part celle des rétablissements, en particulier pour les cheminements agricoles (cf. Figure 4.1-4).

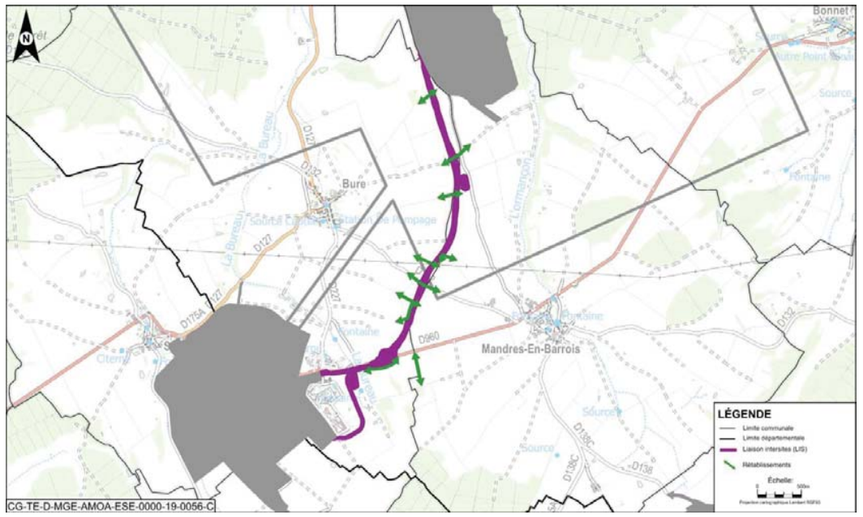


Figure 4.1-4 Localisation de la liaison intersites

4.1.2.2 L'installation terminale embranchée

Comme indiqué dans le chapitre décrivant le projet, il a été envisagé dès 2008 la réalisation d'une liaison ferroviaire permettant d'acheminer les colis de déchets radioactifs provenant des sites des producteurs à proximité du centre de stockage Cigéo. Cette infrastructure pourra également être utilisée pour l'acheminement des matériaux.

Dix scénarios ont été élaborés en lien avec le Schéma Interdépartemental de Développement du Territoire (SIDT) puis examinés en prenant en compte des critères relatifs à la minimisation des ruptures de charge,

à la sécurité/sûreté du public et des travailleurs, à la protection de la biodiversité, au respect des milieux naturels et à la préservation du cadre de vie. Les trois scénarios suivants ont été retenus à l'issue de cette analyse et ont été présentés au débat public en 2013 :

- **Scénario 2A et 2B :** dessertes à partir du nord-ouest et du sud-ouest avec rupture de charge et plateforme de chargement/déchargement fer/route située le long de la ligne Saint-Dizier Chaumont dans la vallée de la Marne au plus proche de Cigéo.
- **Scénario 3 :** desserte à partir du nord-est avec embranchement vers Cigéo depuis la voie ferroviaire existante Nançois-sur-Ornain – Gondrecourt-le-Château et un axe ferroviaire désaffecté reliant Gondrecourt-le-Château à Joinville.
- **Scénario 4 :** desserte à partir du nord-est avec rupture de charge et plateforme de chargement/déchargement fer/route située le long de la ligne Nançois-sur-Ornain – Gondrecourt-le-Château dans la vallée de l'Ornain au plus proche de Cigéo.

Ces scénarios sont indiqués sur la planche graphique ci-après extraite du SIDT (cf. Figure 4.1-5).

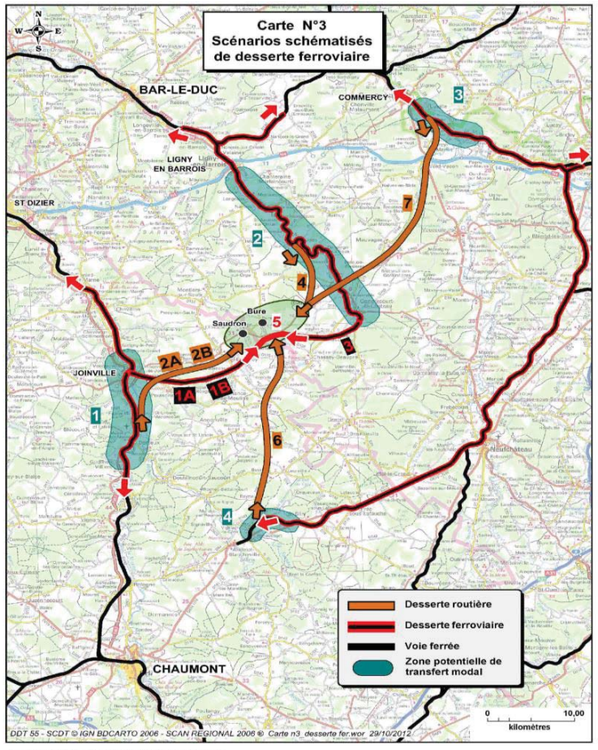


Figure 4.1-5 Extrait du SIDT présenté au débat public de Cigéo de 2013

La conception du tracé a fait l'objet d'échanges avec le territoire et d'ateliers de concertation pour prendre en compte les attentes des usagers du territoire. Ces échanges ont permis d'intégrer les contraintes des riverains en matière de rétablissement des routes et chemins interceptés et de déterminer le tracé au niveau de l'ancienne gare de Lunéville.

Le scénario 3 a été retenu comme le scénario de référence. En effet, il permet une desserte par voie ferrée sans rupture de charge jusqu'à la zone descenderie sans nécessiter de transport routier évitant

les risques et nuisances associés aux changements de mode de transport. La réutilisation sur une dizaine de kilomètres d'une ancienne plateforme évitant des surfaces agricoles.

Le tracé se décompose en deux sections (Figure 4.1-6) :

- une première section d'environ dix kilomètres de long raccordée à la ligne SNCF. Nançois-sur-Ornain – Gondrecourt-le-Château et s'appuyant sur la plateforme de l'ancienne ligne ferroviaire Gondrecourt-le-Château – Joinville ;
- une deuxième section dont le tracé est à créer, d'environ quatre kilomètres de long s'éloignant du tracé de l'ancienne ligne ferroviaire à hauteur de Cirfontaines-en-Ornois pour rejoindre le terminal nucléaire et le terminal fret de la zone descenderie de centre de stockage Cigéo. Cette deuxième section a été définie en tenant compte des contraintes induites par l'altimétrie de l'ancienne ligne ferroviaire et celle du centre de stockage Cigéo et en réduisant :
  - ✓ les impacts sur la biodiversité en évitant les zones humides en bordure de l'Orge au sud du tracé et du bois de Glandenoix au nord du tracé ;
  - ✓ les impacts sur les emprises foncières en s'appuyant au maximum sur le tracé des chemins vicinaux existants et les limites parcellaires des terrains ; tout en respectant les référentiels ferroviaires en matière de géométrie de tracé (courbe et pentes).

Par ailleurs, la plateforme logistique associée à l'aménagement de l'installation terminale embranchée est située sur un ancien site industriel à Gondrecourt le Château et évite donc des emprises sur des surfaces agricoles.

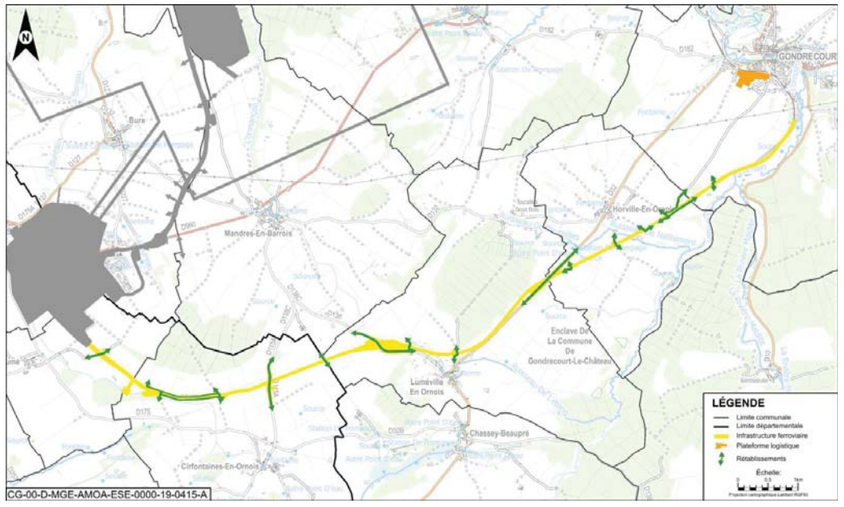


Figure 4.1-6 Localisation de l'installation ferroviaire terminale embranchée

4.1.3 Installations de surface hors bâtis agricoles

Les implantations du centre de stockage Cigéo évitent les hangars et autres bâtis agricoles. Cette mesure d'évitement sera retenue autant que possible pour les autres opérations du projet global.

4.1.4 Préservation des surfaces agricoles au-dessus de la zone d'implantation des ouvrages souterrains

Pour les exploitants agricoles, la cession du tréfonds par les propriétaires est sans incidence sur la valorisation agricole des parcelles. La valeur agronomique et le potentiel de production ne sont en rien altérés à cette profondeur. À ce jour aucune mesure restrictive de l'usage agricole n'est prévue d'être établie pour les parcelles situées à la verticale des installations souterraines.

4.1.5 Échange de foncier pour maintenir les exploitations agricoles

4.1.5.1 Dispositif d'échange

Le dispositif d'échange de foncier mis en place avec l'appui des SAFER a permis d'éviter une perte de SAU pour les exploitations directement concernées par les emprises du projet. 86 % des terres agricoles maîtrisées sous emprises Cigéo ont été compensées par d'autres surfaces agricoles équivalentes afin de maintenir et pérenniser les structures d'exploitation. Aucune exploitation n'a perdu de surfaces agricoles. Les pertes de surfaces fourragères ont été limitées à quelques hectares pour certaines exploitations ayant souhaité l'arrêt d'un atelier d'élevage. Pour certaines exploitations ces échanges ont contribué à leur restructuration foncière au-delà des emprises du centre de stockage Cigéo et pour d'autres exploitations à leur réorientation économique.

La procédure d'acquisition foncière engagée par l'Andra en réalisant des échanges de parcelles agricoles à partir de réserves foncières constituées sur une période d'une dizaine d'années a limité la pression foncière.

Depuis 2013, les échanges de foncier situé sur les emprises de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo ont été menés en concertation avec chaque propriétaire et exploitant afin d'éviter le morcellement du parcellaire agricole et favoriser la restructuration des exploitations. Certaines délocalisations ont été menées à la demande de plusieurs exploitants pour leur permettre une réorientation de leurs productions suite à l'abandon d'atelier d'élevage (bovins lait, ovins).

4.1.5.2 Maintien des surfaces agricoles pour les exploitations sous emprises du projet global Cigéo.

La zone d'intervention potentielle des installations de surface couvre 388 ha de parcellaire agricole dont 381 ha répartis sur 53 exploitations de tailles et de structures différentes. Les exploitations agricoles concernées par les emprises du centre de stockage Cigéo, sont majoritairement des exploitations de grandes-cultures, de polyculture-lait, de polyculture-élevage-viande et de polyculture élevage-lait.

Les emprises agricoles par exploitation varient de moins de 1 ha pour 30 % des exploitations à plus de 25 ha pour 8 % d'entre elles (cf. Tableau 4.1-1). L'emprise moyenne par exploitation est de 7,2 ha. Pour 4 exploitations, les emprises foncières sont supérieures à 30 ha et représentent au total plus de 40 % des emprises agricoles du centre de stockage Cigéo.

Sur les 53 exploitations, 45 exploitations sont directement concernées par les emprises des installations dont 35 avec des emprises sur la marge d'incertitude. 8 exploitations ne sont concernées que par les emprises de la marge d'incertitude. L'emprise moyenne des installations est de 6 ha et pour la marge de 1,2 ha. La SAU moyenne des 53 exploitations s'élève à plus de 202 ha variant de moins de 15 ha à plus de 700 ha.

Tableau 4.1-1 Répartition des emprises agricoles sur la zone d'intervention potentielle

Classes d'emprises agricoles	Emprises agricoles par exploitation sur la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo (ha)								
	< 1	]1-2,5]	]2,5-5]	]5-10]	]10-15]	]15-20]	]20-25]	> 25	Toutes
Nombre	16	5	13	10	1	2	2	4	53
Fraction emprises (%)	30	9	25	19	2	4	4	8	30
Emprises de la marge incertitude (ha)	5,0	2,1	24,3	24,5	2,8	0,5	3,6	0,7	63,5
Emprises des installations (ha)	0,4	6,1	24,2	46,9	11,6	30,6	41,9	156,4	318,1
Emprises totales (ha)	5,4	8,2	48,5	71,4	14,4	31,1	45,5	157,1	381,6
Fraction emprises (%)	1	2	13	19	4	8	12	41	100
Fraction cumulée (%)	1	4	16	35	39	47	59	100	100

Les emprises agricoles de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo représentent en moyenne 3,6 % de la SAU des exploitations dont 3,0 % pour la zone d'installation et 0,6 % pour la marge d'incertitude. Pour 57 % des exploitations ces emprises sont inférieures à 2 % de leur SAU et pour 6 % d'entre elles supérieures à 20 %. Les 3 exploitations à plus de 20 % de SAU concernées représentent à elles seules 24 % de l'emprise agricole de la zone d'intervention potentielle. Pour ces exploitations le retrait de surface agricole peut lourdement impacter leur activité et leur pérennité en l'absence de surface de compensation (cf. Tableau 4.1-2).

Tableau 4.1-2 Part de la SAU des exploitations sous emprise de la zone d'intervention potentielle

Classes d'emprises	Part de la SAU des exploitations sous emprises de la zone d'intervention potentielle								
	< 1 %	]1 % - 2 %]	]2 % - 3 %]	]3 % - 5 %]	]5 % - 10 %]	]10 - 15 %]	]15 % - 20 %]	> 20 %	Toutes
Nombre d'exploitations	17	13	4	7	6	3	0	3	53
(% des exploitations)	32	25	8	13	11	6	0	6	100
Emprises totales zone d'intervention potentielle	8,6	40,2	15,3	37,7	88,9	96,6	0,0	93,0	380,2
Fraction emprises (%)	2	11	4	10	23	25	0	24	100
Fraction cumulée (%)	2	13	17	27	50	76	76	100	100

C'est au total 32 exploitations et 56 propriétaires qui ont été concernés par ces échanges au sein de la zone d'intervention potentielle pour 134 parcelles cadastrales. Les surfaces échangées par exploitation varient de 0,3 % à plus de 30 % de la SAU (Surface Agricole Utile) avec une moyenne de 5 %.

Ces opérations de rétrocession et d'échange sur les emprises agricoles de la zone d'intervention potentielle ont été menées majoritairement pour 58 % des surfaces dans le cadre de restructuration du parcellaire et pour 37 % dans le cadre d'opérations de délocalisation (cf. Tableau 4.1-3).

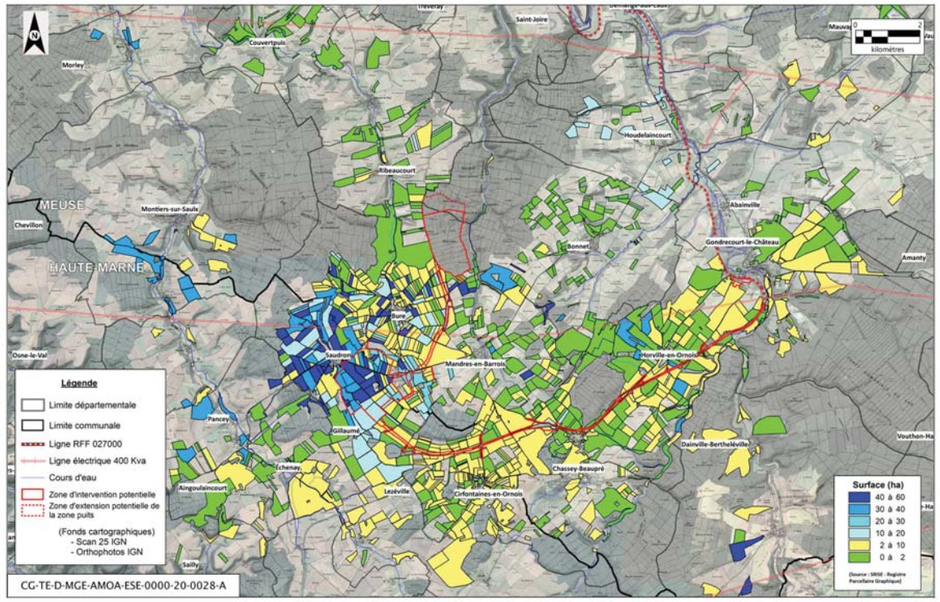


Figure 4.1-7 *Surface par exploitation sous emprise de la zone d'intervention potentielle avant échange*

Tableau 4.1-3 *Incidence parcellaire des échanges et des cessions du foncier agricole au sein de la zone d'intervention potentielle*

	Répartition	
Incidence parcellaire	**Surface (ha)**	**%**
Délocalisation	118	38
Fin d'activité	9	3
Inchangée	3	1
Restructuration	178	58
Total	**307**	**100**

Toutes les exploitations dont les emprises agricoles sont supérieures à 10 ha ont fait l'objet d'échange afin d'assurer leur pérennité. Ces opérations foncières ont assuré pour ces exploitations le maintien des surfaces et permis une restructuration de leur parcellaire (cf. Figure 4.1- et Figure 4.1-8).

De par ce dispositif anticipé d'échange de foncier avec le concours de la SAFER-GE, plus de 80 % des terres agricoles sous emprises de la zone d'intervention potentielle sont maîtrisées à fin 2020. Ces échanges ont assuré le maintien des surfaces agricoles pour les exploitations afin de préserver leur outil de production.

90 % des surfaces agricoles non encore maîtrisées sont composées de terres labourables et plus de 60 % sont localisées sur les zones de marge d'incertitude dont l'acquisition se fera après finalisation des études d'implantation du centre de stockage Cigéo. Ce foncier agricole est principalement localisé le long de la liaison intersites et de l'installation terminale embranchée. 40 % du foncier agricole restant à acquérir est localisé sur la zone descenderie et la liaison intersites.

Pour assurer la maîtrise foncière de ces surfaces, il sera proposé à tous les propriétaires et exploitants des échanges à partir des réserves foncières déjà existantes. Sur les surfaces associées à une exploitation agricole (76,7 ha), c'est au total 43 exploitants concernés (dont 25 ayant déjà réalisé des échanges précédemment). L'emprise maximale par exploitant n'excède pas 8,3 ha (12 % max de la SAU) et la surface moyenne par exploitant est de 1,8 ha ce qui est relativement peu au regard de la taille des exploitations du secteur. La plupart des terres agricoles font l'objet d'un bail rural et/ou d'une mise à disposition d'une société d'exploitation (EARL, SCEA ou GAEC).

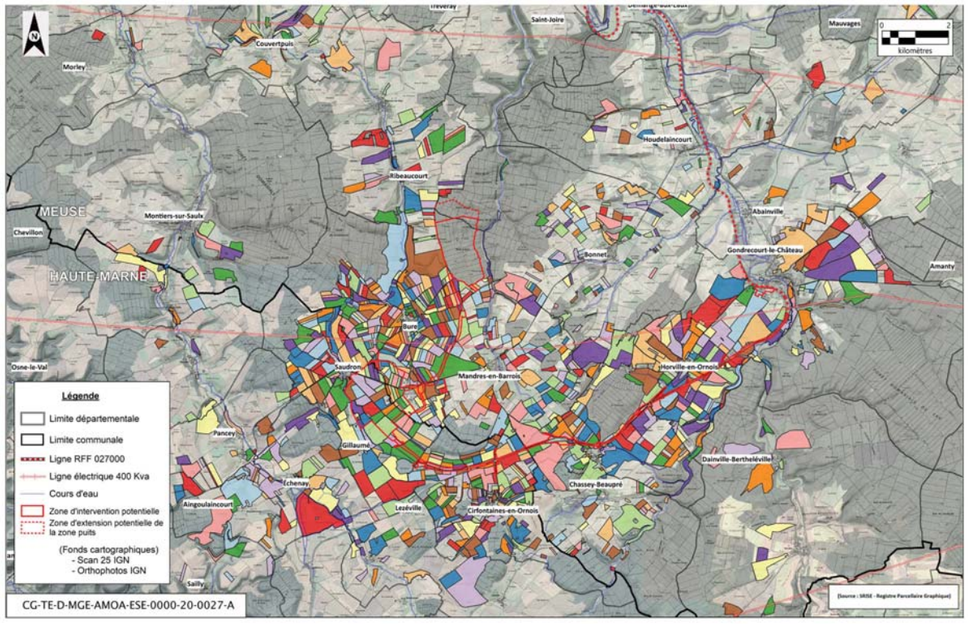


Figure 4.1- *Parcellaire des exploitations sous emprise de la zone d'intervention potentielle avant échange*

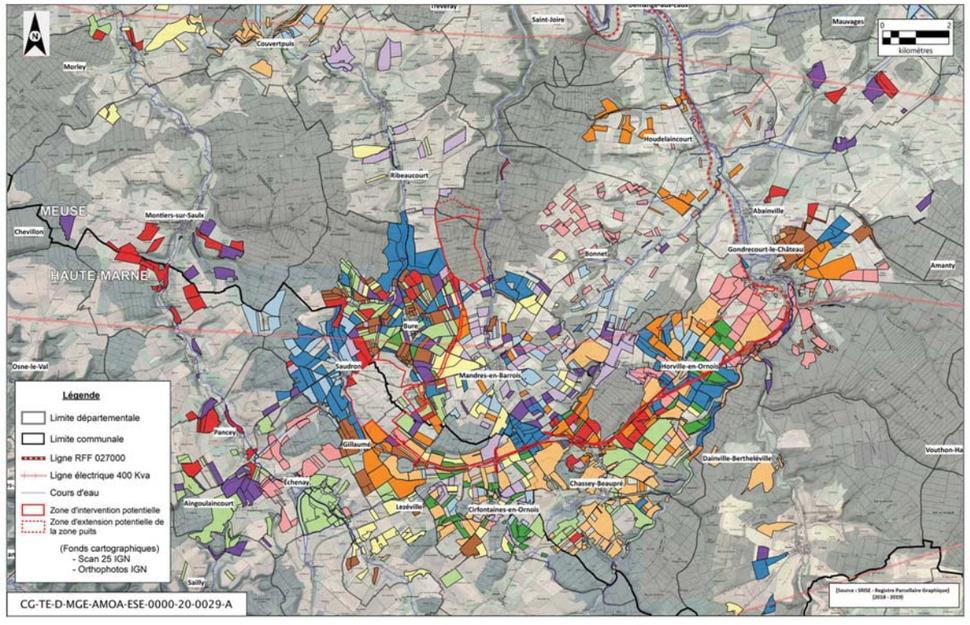


Figure 4.1-8 *Parcellaire des exploitations sous emprise de la zone d'intervention potentielle après échange*

4.1.6 Préservation des surfaces agricoles pour les mesures compensatoires sylvicoles

Le choix d'implantation de la zone puits en milieu forestier a été arrêté en fonction de la localisation de la zone d'implantation des ouvrages souterrains mais également pour limiter les emprises des aménagements de surface sur les terres agricoles. Le défrichement de la zone puits sera entrepris par tranche.

Le défrichement fera l'objet d'une compensation sylvicole conformément aux dispositions réglementaires du Code forestier (article L. 341). Parmi les trois modes de compensation possibles (financement de travaux forestier, versement d'une indemnité au Fonds Stratégique de la Forêt et du Bois ou financement de travaux d'amélioration sylvicole) l'Andra privilégie le reboisement. Afin d'éviter et de réduire toute emprise agricole supplémentaire pour effectuer ces reboisements qui s'élèveraient dans une première phase à environ 280 ha, l'Andra a lancé dès la fin de l'année 2017 un appel à candidatures ouvertes aux propriétaires forestiers privés et publics de Meuse et Haute-Marne sur la base d'un cahier de charges établi en collaboration avec la Caisse des dépôts et les Directions départementales des territoires des deux départements. Une surface de 700 ha, bien supérieure au besoin de compensation, a été identifiée.

Ainsi, cette modalité de compensation sylvicole par des travaux de reboisement ne portera pas atteinte à des surfaces agricoles et n'aura donc aucun effet négatif pour l'économie agricole.

4.1.7 Choix de conception pour éviter des émissions de poussières et de polluants dans l'air

Plusieurs mesures permettent d'éviter des émissions de poussières susceptibles d'avoir des incidences sur les cultures et les prairies utilisées pour l'élevage :

- La création d'une bande transporteuse couverte semi-enterrée, assurant le transfert des matériaux entre la zone descenderie et la zone puits (liaison intersites). Elle permet d'éviter à la fois les émissions de poussières et les gaz de combustion qui seraient normalement émis par les camions lors du transport de matériaux (cf. Figure 4.1-9).
- Le choix d'un raccordement électrique à la ligne 400 kV existante, qui réduit la longueur de ligne à créer et par conséquent la quantité de travaux à effectuer, ce qui évite les émissions de polluants associés aux travaux ;
- Le choix de remonter la quasi-totalité des matériaux de creusement des ouvrages souterrains à partir des puits et d'entreposer ces matériaux à proximité, sur cette zone puits située en dehors d'un territoire agricole.



Figure 4.1-9 Exemple de bande transporteuse semi-enterrée

4.1.8 Protection de la ressource en eau

Sur les aires d'étude rapprochée et éloignée, l'irrigation n'est pas pratiquée en grandes cultures et n'a donc pas nécessité de mesures d'évitement spécifiques pour préserver d'éventuels réseaux ou ressources en eaux.

L'autre usage important de l'eau pour l'agriculture est celui nécessaire à l'abreuvement des animaux dans les pâtures. Sur la zone d'intervention potentielle de surface, les rares points d'abreuvement des prairies en limite des zones d'aménagement ont été évités.

4.1.8.1 Des choix de conception pour éviter des incidences sur les eaux souterraines

Les mesures d'évitement des incidences sur les eaux souterraines en terme de qualité et de quantité pouvant être utilisée pour l'agriculture ont été intégrées dans la conception du projet. Elles comprennent notamment :

- l'absence de rejet direct d'effluent liquide, même après traitement, dans les eaux souterraines ;
- l'absence de prélèvement d'eau dans les nappes d'eau souterraine pour un usage d'eau non potable par l'Andra. À noter que pour les autres opérations du projet global Cigéo, les besoins en eau non potable ne sont pas définis, mais le même principe d'évitement de tout prélèvement d'eau non potable est autant que possible, retenu ;
- l'absence de création de forage pour un usage d'alimentation en eau potable pour le centre de stockage Cigéo : l'alimentation en eaux du centre de stockage Cigéo est prévue à partir de captages déjà existants et exploitant les nappes contenues dans les bancs calcaires du Kimméridgien et dans les calcaires Oxfordien. Pour les autres opérations du projet global Cigéo, aucun captage d'eau potable spécifique n'est prévu.

4.1.8.2 Des choix de conception pour éviter des incidences sur les eaux superficielles

Plusieurs mesures permettent d'éviter des effets du projet sur la ressource en eau susceptibles d'avoir des incidences sur les usages de l'eau pour les cultures et l'élevage. Ces mesures comprennent notamment :

- L'absence de prélèvement dans les eaux superficielles : aucun prélèvement dans les eaux superficielles ni en fonctionnement, ni lors des travaux (aménagements préalables, construction initiale) pour l'ensemble des opérations du projet global ;
- L'absence de rejet liquide susceptible de contenir des éléments radioactifs : tous les effluents issus des zones à production possible de déchets nucléaires sont collectés, puis contrôlés radiologiquement et le cas échéant traités via une unité de traitement mobile (technologie existante et éprouvée). Ces effluents liquides susceptibles de contenir d'éventuelles traces de radioactivité sont évacués vers des installations de traitement autorisées.
- La mise en place de modalités de travaux pour éviter les incidences potentielles sur les eaux superficielles : les eaux pluviales des bassins versants interceptés par les zones d'intervention potentielle sont collectées à l'amont des plateformes de travaux, puis évacuées avec régulation et traitement. Ceci permet d'éviter l'inondation des zones de travaux par les eaux de ruissellement provenant des terrains amont et permet d'éviter également les risques de pollution de ces eaux.

4.2 Mesures de réduction

Le tableau 4.2-1 ci-dessous illustre, malgré les mesures d'évitement, l'importance des surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle en surface du centre de stockage. La surface de terres agricoles de cette zone, correspondant à une surface maximale majorante est de 388 hectares.

4.2.1 Gestion des réserves foncières

À chaque opération d'acquisition, les surfaces agricoles détenues par la SAFER et l'Andra hors zone Cigéo sont exploitées via des conventions d'occupation temporaire établies par la SAFER après appel à candidatures et attribution fixée par les comités techniques SAFER. Leurs exploitations et leurs productions réduisent l'impact de ces réserves sur l'économie du territoire.

Les surfaces agricoles sous emprises Cigéo ont également fait l'objet d'occupation précaire jusqu'à la récolte 2015 pour laisser place à la réalisation du diagnostic archéologique préventif. Les arrêtés de prescription de fouilles établis en 2016 ont fixé des zones de réserve (120 ha) pour y mener des fouilles complémentaires. Ces arrêtés imposent des restrictions d'usage sur la profondeur du travail du sol afin de préserver d'éventuels vestiges archéologiques. Afin de respecter ces mesures tout en maintenant une activité agricole sur ces surfaces, toute la zone descenderie et l'ITE a été emblavée en culture de luzerne au printemps 2017 aux frais de l'Andra qui a fait appel à trois entreprises de travaux agricoles (ETA) locales et aux agrofournisseurs (privé et coopérative) du secteur pour les semences et les produits de traitement.

Depuis mai 2017, les surfaces de luzerne (285 ha) font l'objet d'une vente d'herbe sur pieds au bénéfice des éleveurs locaux.

Tableau 4.2-1 Gestion des réserves foncières agricoles (Andra + Safer)

	Gestion des réserves foncières agricoles					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Surface COP[31] (ha)	322	779	477	500	500	500
Nb agriculteurs	17	43	38	44	45	45
Surface /Agriculteur	**19**	**18**	**13**	**11**	**11**	**11**
Surface Luzerne (ha)				281	281	281
Nb agriculteurs				13	20	26
Surface/Agriculteur				**22**	**14**	**11**

[31] COP : convention d'occupation précaire

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Mesures d'évitement et de réduction des effets négatifs du projet

4.2.2 Maintien et rétablissement des dessertes agricoles

La réalisation de la zone descenderie, de la liaison intersites et de l'installation terminale embranchée conduit à modifier les itinéraires utilisés par les agricultures pour rejoindre leurs parcelles.

- L'implantation de la zone descenderie entraine la disparition de l'itinéraire agricole utilisé en particulier entre Bure et Gillaumé (correspondant à l'utilisation de quatre chemins d'exploitation agricole (CA): chemin « des trois finages », chemin « de chez Chien », chemin « de Chapet » et chemin de la Chalêtre). Les autres chemins ruraux et agricoles d'exploitation, actuellement situés au niveau de la zone descenderie sont utilisés pour accéder à des parcelles localisées sur l'emprise du projet et qui n'auront donc plus d'usage agricole.
- Le tracé de la liaison intersites (LIS) croise et/ou modifie deux routes départementales (RD), onze chemins ruraux (CR), deux chemins d'exploitation agricole (CA).
- L'installation terminale embranchée (ITE) a des incidences sur les itinéraires empruntés par les agriculteurs. En effet l'infrastructure ferroviaire de l'ITE croise et/ou modifie trois routes départementales (RD), huit chemins ruraux (CR) et neuf chemins d'exploitation agricole (CA).

Toutes les dessertes agricoles ont été étudiées avec les exploitants et discutées dans le cadre de concertation afin de définir les rétablissements qui devraient être aménagés pour ne pas pénaliser l'accès aux parcelles pour les engins agricoles. Les rétablissements sont dimensionnés pour garantir leur franchissement par des matériels agricoles et pour assurer la continuité des chemins.

4.2.2.1 Les rétablissements de la zone descenderie

Au niveau de la zone descenderie, l'aménagement de la déviation de la route départementale D60/960 est adapté pour permettre la circulation des engins agricoles et assurer son raccordement aux chemins ruraux et agricoles d'exploitation.

Pour pallier à la disparition de l'itinéraire agricole utilisé en particulier entre Bure et Gillaumé (correspondant à l'emprunt de quatre chemins d'exploitation agricole (CA): chemin « des trois finages », chemin « de chez Chien », chemin « de Chapet » et chemin de la Chalêtre) ; 2 solutions sont envisagées : soit *via* l'utilisation de la route départementale D60/960, si l'option passant au sud de la descenderie est retenue, soit par l'aménagement d'un nouvel itinéraire s'appuyant sur le chemin agricole d'exploitation de Mandres et celui de Glandenoix.

4.2.2.2 Les rétablissements de la liaison intersites (LIS)

Concernant les itinéraires situés au niveau de la liaison intersites (cf. Tableau 4.2-2), les rétablissements sont réalisés soit « en place » (à l'endroit de la coupure) via des ouvrages de franchissement dénivelé (pont à passage inférieur) ou à niveau (carrefour), soit par rabattement (déviation) de la circulation vers des voies à proximité disposant d'un ouvrage de franchissement (cf. Figure 4.2-1, Figure 4.2-2 et Annexe 4).

» OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE LA LIS

Les ponts à passage inférieur (PI) sont des ouvrages supportant les infrastructures existantes et passant de fait au-dessus de la LIS.

Le carrefour plan est une intersection avec stop.

Le carrefour giratoire est un rond-point.

Tableau 4.2-2 Les voies interceptées par la liaison intersites et leurs rétablissements

N°	Nom	Commune	Route	Mode de rétablissement
1	**Chemin de la voie Gasselle**	Bure	Privée	Non rétabli (usage inexistant)
			Publique	Non concerné
2	**Chemin dit de Bure à Cirfontaines-en-Ornois**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Non concerné
3	**Chemin dit de la grande Charquemont**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Non concerné
4	**Chemin latéral sud**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
5	**Route Départementale 960**	Bure	Privée	PI
			Publique	Carrefour giratoire
6	**Chemin latéral Nord**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
7	**Chemin dit du Moulin**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
8	**Route Départementale 132**	Bure	Privée	PI
			Publique	PI
9	**Chemin dit des Fosses**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Carrefour plan
10	**Chemin dit Bigola**	Mandres-en-Barrois	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
11	**Chemin de remembrement de Bure**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
12	**Chemin dit de Bure à Bonnet**	Bure	Privée	PI
			Publique	Carrefour plan
13	**Chemin dit des Herbués**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
14	**Chemin dit de la Voie Saint-Jean**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Carrefour plan
15	**Chemin dit de Ribeaucourt à Mandres-en-Barrois**	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Carrefour plan

Les différents rétablissements localisés sont présentés sur la figure 4.2-1.

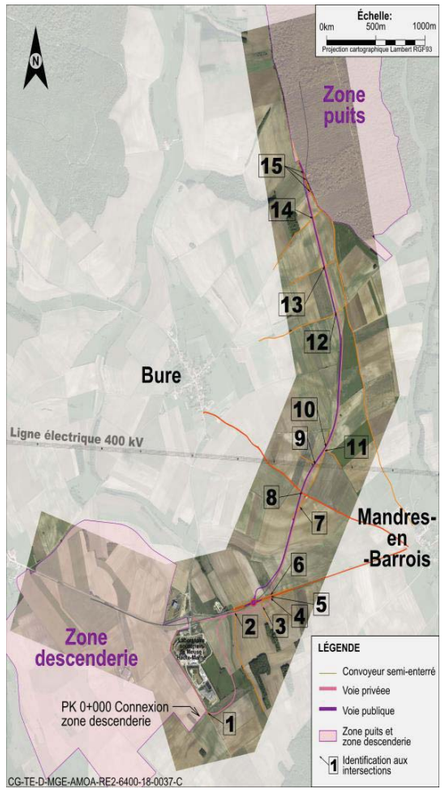
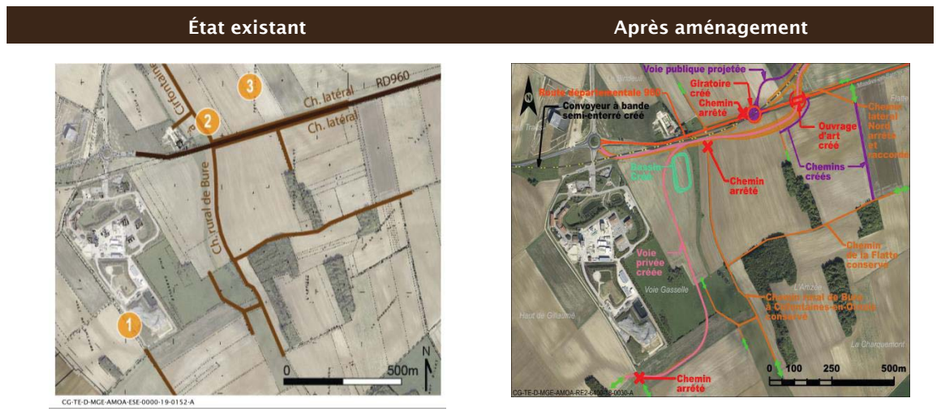


Figure 4.2-1 Rétablissements des voies interceptées par la liaison intersites



Chemins ruraux interrompus — Itinéraires de déviation proposés

Figure 4.2-2 Exemples et Illustrations des rétablissements de la liaison intersites à proximité de la zone descenderie

4.2.2.3 Les rétablissements de l'ITE

Concernant les itinéraires interceptés par l'infrastructure ferroviaire de l'ITE (cf. Tableau 4.2-3), les rétablissements sont réalisés soit « en place » via des ouvrages de franchissement dénivelé de type pont (pont route (PRO) ou pont rail (PRA)) ou des passages à niveau (PN), soit par rabattement de la circulation vers des voies à proximité disposant d'un ouvrage de franchissement (cf. Figure 4.2-3 Figure 4.2-5 et Annexe 5).

La plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château n'interrompt aucune voie de circulation.

Tableau 4.2-3 Les voies interceptées par l'ITE

N°	Nom	Commune	Mode de rétablissement
1	**Chemin de la vallée de Fraumont**	Gondrecourt-le-Château (dép.55)	PN
2	**Chemin de Fromont - Tillancourt**	Gondrecourt-le-Château/Horville-en-Ornois (dép.55)	Rabattement
3	**Chemin de la Crémont**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PRO
4	**Chemin du Maraud**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PN
5	**Chemin de Papon**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PRA
6	**Chemin de Grévines**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PN
7	**Route Départementale 32**	Horville-en-Ornois/Luméville-en-Ornois (dép.55)	PRO
8	**Chemin dénommé chemin n° 9 latéral du Chemin de Fer**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	Rabattement
9	**Chemin dénommé chemin n° 5 de Luméville-en-Ornois à Tourailles-aux-Bois**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	PRO
10	**Chemin de Vouez**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	PN
11	**Route Départementale 138**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	PRO
12	**Chemin d'exploitation Le Closet**	Luméville-en-Ornois (55)/Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PN
13	**Route Départementale 115a/138c**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PRO
14	**Chemin de la Courbière**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PN
15	**Chemin de la Saunière**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	Rabattement
16	**Chemin de la Côte de Glandenoix**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	Rabattement
17	**Chemin du Pierrier**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	Rabattement
18	**Chemin des Anges**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PN
19	**Chemin de Mandres**	Gillaumé (dép.52)	PRA
20	**Chemin de la Chalêtre**	Gillaumé (dép.52)	Rabattement

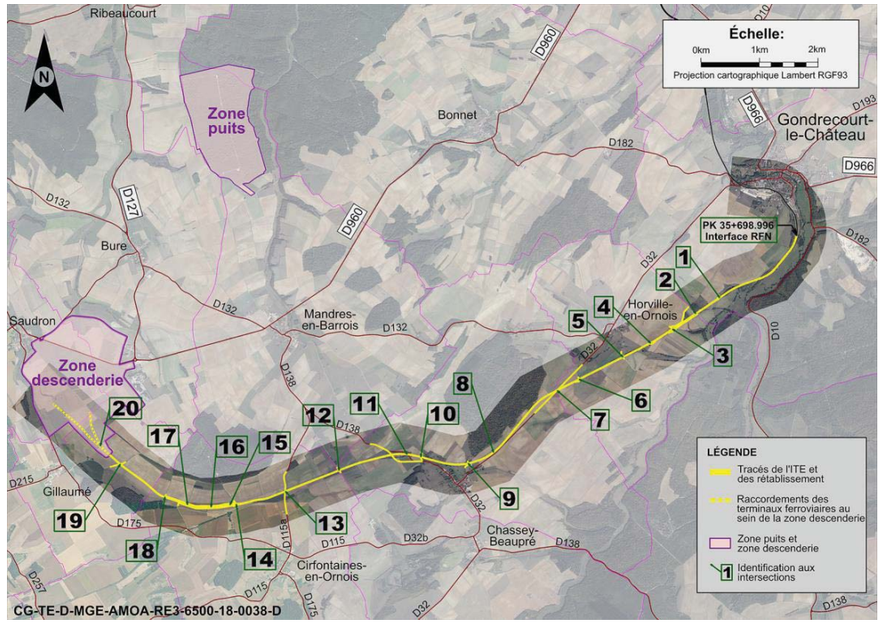


Figure 4.2-3 Rétablissements des voies interceptées par l'installation terminale embranchée

OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE L'ITE (FIGURE 4.2-4)

Les ponts routes (PRO) sont des ouvrages qui portent les routes ou chemins rétablis en passant au-dessus de l'infrastructure ferroviaire.

Les ponts rails (PRA) correspondent aux ouvrages qui portent l'infrastructure ferroviaire et passent donc au-dessus des routes et chemins.

Passage à niveau : rétablissement à niveau.

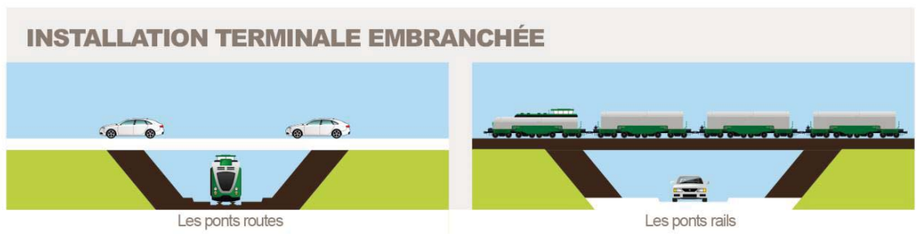


Figure 4.2-4 Illustrations de rétablissements étudiés

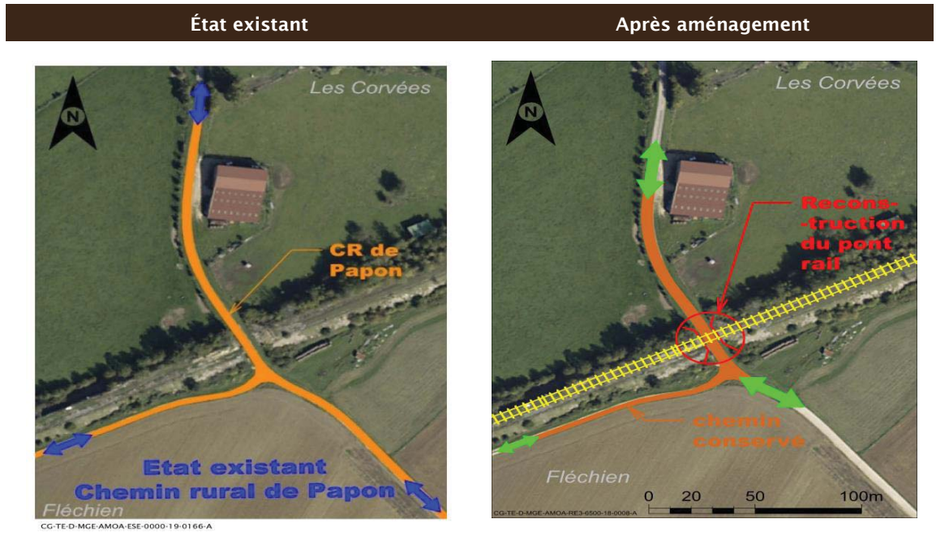


Figure 4.2-5 Exemple et Illustrations d'un rétablissement de l'Installation terminale embranchée (pont de Papon)

4.2.3 Maintien et rétablissement des réseaux de drainage

Les surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle de surface majoritairement localisées sur des sols superficiels argilo-calcaires ne sont pas drainées à l'exception d'un petit secteur sur la commune de Gillaumé. Le réseau de drainage de cette zone sera cartographié sur le terrain afin de procéder à son repérage avant travaux pour éviter qu'il ne soit endommagé ou à défaut de procéder à son remplacement pour garantir sa continuité et son efficacité.

4.2.4 Contrôle des risques de dissémination d'espèces invasives

Les travaux, principalement lors des terrassements, peuvent entraîner la dissémination d'espèces végétales invasives susceptibles d'affecter les cultures. Les espèces invasives indésirables ont fait l'objet d'un recensement. Leur présence est limitée à quelques secteurs bien spécifiques.

Pendant la phase d'aménagements préalables leurs emplacements sont balisés et le traitement des zones concernées fait l'objet d'une gestion particulière afin de circonscrire leur prolifération et leur impact potentiel sur les productions agricoles. Ainsi, l'incidence résiduelle permanente est très faible.

4.2.5 Contrôle des émissions de particules et de gaz

4.2.5.1 Émissions de particules lors de travaux et du fonctionnement et mesures de réduction

Les dépôts de particules (en particulier les poussières) sur les cultures environnantes peuvent en effet avoir un impact indirect temporaire sur l'agriculture (gêne éventuelle de la photosynthèse, salissure des végétaux…), particulièrement en cas de conditions météorologiques défavorables.

Différentes mesures de réduction de ces risques d'émission sont retenues :

- l'arrosage des pistes par temps sec ;
- la mise en place de dispositifs de capotage et d'aspiration, le bâchage des camions transportant des terres, la mise en place pour les silos de stockage d'un système de filtration des poussières ;
- la limitation de la vitesse des véhicules à 20 km/h maximum ;
- l'entretien régulier des camions et engins

En phase travaux, les émissions temporaires de particules ne sont ainsi pas de nature à avoir un impact notable sur la qualité agronomique des parcelles et des cultures, y compris celles relevant de signes de qualité.

En phase de fonctionnement, les émissions de poussières sont principalement liées à l'évacuation des verses lors du déploiement progressif des ouvrages souterrains. Celles liées aux circulations des véhicules sont beaucoup plus faibles que pendant les travaux.

4.2.5.2 Émissions de gaz et particules radioactifs lors du fonctionnement et mesures de réduction

Les émissions d'éléments radioactifs sont faibles et permanentes à partir de la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Rejetés dans l'air, ces éléments peuvent se déposer au sol à proximité des installations de surface du centre de stockage.

Des mesures de réduction liées aux émissions radioactives reposent principalement :

- la solidification et l'immobilisation préalable sous une forme non dispersable des déchets radioactifs ;
- le respect des règles en termes d'emballage des colis de déchets radioactif ;
- la gestion des émissions radioactives (systèmes de ventilation, avec filtration à très haute efficacité) ;
- la hauteur des émissaires de rejets fournissant des conditions dispersion optimales.

Ainsi, les émissions d'éléments radioactifs du centre de stockage Cigéo sont très faibles et correspondent principalement à des gaz qui ne peuvent être retenus par les colis de déchets radioactifs et les filtres. Rejetés dans l'air, ils peuvent se déposer au sol et se retrouver dans les produits agricoles en quantités encore plus faibles.

Déjà présents naturellement dans les produits agricoles à des concentrations extrêmement faibles, le carbone 14 et le tritium pourraient y être détectés mais toujours avec des concentrations extrêmement faibles, sans incidence sur la qualité des productions agricoles.

L'incidence résiduelle sur les produits agricoles permanente lors de la phase de fonctionnement est donc extrêmement faible.

4.2.6 Suivi de la qualité des productions agricoles pour la protection de leur image

Les incidences sur les sols, l'air et l'eau des émissions chimiques ou radioactives lors de la construction et du fonctionnement sont peu importantes. Elles ne sont pas de nature à impacter la qualité des productions.

Les émissions radioactives en particulier sont très faibles. En effet, les déchets sont en permanence confinés a minima dans les colis. Elles sont uniquement liées au dégazage de certains colis et à la remise en suspension de particules qui peuvent se trouver à leur surface.

Toutefois, certaines émissions, particulièrement de poussières lors d'opérations de terrassement, pourraient parfois être visibles.

En revanche, il est difficile d'évaluer de façon objective, l'incidence que pourrait avoir le projet global Cigéo sur l'image des productions agricoles, qu'il s'agisse de l'image des productions agricoles sous signe de qualité (y compris les quelques exploitations agricoles bio), ou des autres productions. Néanmoins, des centres de stockages de l'Andra sont exploités dans le département de l'Aube depuis plusieurs années, il n'y a pas été observé de diminution de la production et de la vente de produits locaux (Champagne, Chaource…).

4.2.6.1 Observatoire pérenne de l'environnement

Depuis 2009, l'Andra a mis en œuvre un ensemble de moyens d'observation et de conservation d'échantillons de l'environnement sur une zone de 900 km² comprenant un secteur de référence de 345 ha autour des emprises de surface de Cigéo, l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE). L'objectif de l'OPE est de caractériser l'environnement de surface avant toute construction des installations de surface et de suivre son évolution sur la durée séculaire d'exploitation du centre de stockage Cigéo.

Dès 2007 l'Andra a établi, avec l'aide du comité scientifique de l'OPE composé d'experts en environnement issus du monde académique (INRA, CEA, CNRS, MNHN), une liste de paramètres indicateurs d'état et de fonctionnement de l'environnement pour chacun des compartiments environnementaux (Air, Sol, Eau et Biodiversité). Ainsi, les données enregistrées par l'OPE regroupent des inventaires de terrain et des mesures de grandeurs physico-chimiques représentatives des conditions naturelles d'évolution des écosystèmes et des mesures des pressions anthropiques liées ou non au centre de stockage Cigéo.

Les dispositifs d'observation déployés dans le cadre de l'OPE sont composés, à la fois, de sites d'observation spécifiques permettant d'acquérir des données en continu ; station de mesure de la qualité des eaux, de l'air, et de suivis réguliers répartis sur la zone d'étude ; réseau de mesure de la qualité des sols ou suivis biodiversités. Les nombreuses données acquises depuis 2007 regroupent à la fois des mesures des paramètres physiques et chimiques et des observations réalisées dans les différents milieux. Cependant Il est important de noter qu'en dépit des nombreuses données environnementales acquises dans le cadre de l'OPE, ces observations ne peuvent être tenues pour exhaustives en termes de contenu, de temps ou bien d'espace. De même, l'OPE ne s'inscrit pas dans le cadre de l'évaluation des impacts ou de la surveillance de l'environnement de Cigéo au sens réglementaire mais plus tôt dans une démarche innovante et responsable de l'Andra de connaissance et d'observation du territoire de Meuse/Haute-Marne, en regard de la spécificité de Cigéo.

Adossée aux dispositifs d'observation environnementaux, l'Écothèque a pour mission de préserver une mémoire de l'environnement sur le long terme et de permettre l'analyse rétrospective des échantillons sur une durée centennale. L'Écothèque est dotée de 2 zones de conservation principale, une en voie sèche (la pédothèque) à une température comprise entre 18 °C et 21 °C, et une en voie cryogénique à une température d'environ -150 °C (cf. Figure 1-17). Les zones pédothèque et cryogénie permettent d'envisager la conservation d'échantillons de natures différentes, sur des temps différents. La voie sèche permet l'archivage d'échantillon sur une durée estimée de 1 à 3 décennies suivant les matrices. La cryogénie permet l'archivage d'échantillons organiques en milieu anoxique et suffisamment froid pour stopper les réactions bactériologiques, biologiques et enzymatiques. La durée de conservation de la composition chimique de l'échantillon est supérieure à 100 ans.

LIEN ENTRE OPE ET ACTIVITÉS AGRICOLES

Dans le cadre de cet observatoire plusieurs matrices agricoles sont analysée et conservées afin de compléter l'état de référence de l'environnement avec la possibilité de réaliser de nouvelles analyses sur ces mêmes échantillons. Cet outil offre la possibilité de compléter le suivi des productions agricoles afin de veiller à l'absence de polluants contre tout questionnement pouvant nuire à leur image dans un contexte commercial tendu.

4.2.6.2 Suivi des produits agricoles

a) Niveaux actuels de radioactivité des produits de la chaîne agro-alimentaire

Comme le reste de l'environnement, les produits agricoles sont exposés à la radioactivité du fait des éléments radioactifs naturellement présents dans le sol, les végétaux, les animaux et l'atmosphère depuis la formation de la terre.

Les feuilles des végétaux terrestres sont directement exposées à la radioactivité de l'air (sous forme aérosol ou gaz) et au dépôt des particules radioactives (sous forme aérosol). Les légumes feuilles tels que les salades présentent ainsi les niveaux de radioactivité les plus élevés. Seule une partie des éléments radioactifs déposés est transférée des feuilles vers les autres organes de la plante (fruits, grains, racines ou tubercules).

Les éléments radioactifs se transfèrent ensuite aux animaux essentiellement par ingestion de denrées contaminées. L'intensité des transferts vers les produits animaux (lait, viande et œuf) varie en fonction du produit et de l'élément radioactif. Toutefois, les produits animaux présentent toujours des niveaux de radioactivité inférieurs, voire très inférieurs, à ceux des végétaux.

Le niveau de radioactivité des produits agricoles se mesure par la caractérisation des différents éléments radioactifs présents dans ses différentes composantes et par la quantification de leurs niveaux d'activités.

Un suivi de l'évolution spatiale et temporelle montre que les variations d'origine artificielle sont jusqu'à plusieurs ordres de grandeur inférieures aux fluctuations de la radioactivité ambiante d'origine naturelle.

Ainsi, compte tenu de la présence d'éléments radioactifs dans l'air, les sols et les eaux, les produits agricoles contiennent de la radioactivité. La figure 4.2-6 présente les niveaux de radioactivité des principaux éléments radioactifs naturels et artificiels présents dans les denrées produites en France. Pour chaque catégorie de denrées sont fournis le nombre de résultats exploités et le nombre d'analyses disponibles.

Dans l'aire d'étude éloignée, les niveaux de radioactivité sont recherchés dans les produits végétaux et animaux destinés à la consommation humaine. Deux critères sont alors importants à prendre en compte : le premier est la représentativité des productions locales et le deuxième l'importance dans la ration alimentaire humaine. Des échantillons de produits agricoles (miel, viandes, lait, céréales, légumes) ont été prélevés dans cette aire d'étude lors de deux campagnes, l'une réalisée par le laboratoire Subatech[32] en 2007-2008 et l'autre effectuée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) pour l'Observatoire pérenne de l'environnement de l'Andra (OPE) en 2009-2013. Ces analyses permettent d'apprécier le niveau de radioactivité actuel contenu dans ces produits agricoles.

Dans l'aire d'étude éloignée du projet Cigéo, les niveaux mesurés de radioactivité sont très faibles, de l'ordre du Bq/kg ou moins.

Les éléments radioactifs naturels que l'on mesure sont principalement du potassium 40 (^{40}K), du béryllium 7, (^{7}Be), du polonium 210 (^{210}Po) et d'autres isotopes de l'uranium et thorium. La radioactivité artificielle détectée provient des retombées des essais nucléaires : strontium (^{90}Sr), plutonium (^{238}Pu/$^{239+240}$ Pu) et de l'accident de Tchernobyl essentiellement du césium (^{137}Cs).

Le ^{40}K est mesuré dans tous les échantillons de produits de la chaîne agro-alimentaire, à des niveaux en conformes aux valeurs attendues. Ils sont faibles dans le miel (7,1 Bq/kg et 23,5 Bq/kg frais), ainsi que dans le lait (43 Bq/L à 49 Bq/L) et le fromage (65 Bq/kg à 71 Bq/kg sec). Ils sont moyens dans les viandes (entre 180 Bq/kg et 858 Bq/kg sec). Ils sont plus élevés dans les légumes-feuilles (1 286 Bq/kg et

[32] SUBATECH : le Laboratoire de physique subatomique et technologies associées (dit Subatech) est une unité mixte de recherche (UMR 6457) affiliée à trois tutelles : l'IMT Atlantique, l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du CNRS, et l'Université de Nantes. Subatech est hébergé sur le campus de Nantes de l'IMT Atlantique (anciennement, l'école nationale supérieure des mines de Nantes).

1 512 Bq/kg sec). Concernant les céréales, le blé affiche des niveaux de radioactivité en ^{40}K variant entre 134 Bq/kg et 121 Bq/kg sec alors que le colza atteint 2 707 Bq/kg sec. Cela s'explique par le fait que le colza est un végétal qui a des besoins élevés en potassium et qui le concentre naturellement.

Le ^{7}Be, d'origine cosmogénique naturelle, a aussi été, logiquement, retrouvé dans les organes aériens des végétaux (feuilles de choux, pousses de blé et de colza) avec un niveau de radioactivité qui varie entre 200 Bq/kg et 400 Bq/kg sec.

Le ^{210}Po est issu de la chaîne de désintégration de l'^{238}U et provient de l'exhalation de radon ^{222}Rn gazeux par le sol, de sa désintégration progressive en ^{210}Pb, puis en ^{210}Po. Le ^{210}Pb peut aussi avoir une origine cosmogénique naturelle ou encore stratosphérique venant du volcanisme. Le ^{210}Po ainsi produit, se dépose rapidement à la surface du sol et des végétaux. Les niveaux de radioactivité en ^{210}Po mesurés dans les légumes, l'herbe et le foin sont assez homogènes et s'échelonnent de 8,7 Bq/kg à 29,5 Bq/kg sec. Ces niveaux sont dans la gamme des concentrations naturellement rencontrées dans l'environnement (de 0,1 Bq/kg à 160 Bq/kg sec).

Les niveaux de radioactivité en ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U et ^{232}Th mesurés sont faibles (respectivement < 1, 0,05, 1,13 et 1,6 Bq/kg sec). Les niveaux les plus élevés concernent les végétaux (hors céréales), tandis que les niveaux les plus faibles concernent le lait, avec un facteur 100 d'écart. Les rapports de masse $^{235}U/^{238}U$ sont proches de 0,72, valeur caractéristiques de l'uranium naturellement présent dans l'environnement.

Les techniques utilisées pour mesurer le tritium et le carbone 14 dans des échantillons de feuilles de hêtre, de chou, œufs, lait, brie, lors de la campagne de 2008 n'ont pas permis de disposer de résultats au-dessus des limites de détection. Lors de la campagne de 2013, le choix a été fait d'améliorer la technique de mesure pour obtenir des mesures sur des niveaux plus bas et d'utiliser le bio-indicateur « feuille d'arbre ». En effet, le tritium et le carbone 14 atmosphériques sont prélevés par les plantes qui les assimilent via la photosynthèse, c'est donc dans les feuilles de hêtre que l'on peut y retrouver les concentrations les plus importantes. Les niveaux de radioactivité ainsi mesurés dans les feuilles de hêtre sont compris entre 3 Bq et 4 Bq de tritium par kg de matière sèche (équivalent à environ 0,3 Bq/kg à 0,4 Bq/kg frais) et entre 237 Bq et 243 Bq de ^{14}C par kg de carbone stable (équivalent à moins de 15 Bq/kg frais), niveaux inférieurs ou comparables aux moyennes nationales observées.

Les légumes, l'herbe et le fourrage présentent des niveaux de radioactivité en ^{90}Sr compris entre 0,63 Bq/kg et 1,62 Bq/kg sec, correspondant à des niveaux plutôt faibles liés aux dépôts suite aux essais nucléaires (tirs atmosphériques). Les niveaux de radioactivité dans le lait sont très homogènes et 100 fois plus faibles, compris entre 0,012 Bq/L et 0,016 Bq/L, se situant à la limite basse des concentrations mesurées dans le lait en France dans des environnements à l'écart des activités nucléaires actuelles. On retrouve également des niveaux de radioactivité en ^{90}Sr très homogènes dans les fromages (de 0,11 Bq/kg à 0,16 Bq/kg sec), 10 fois plus élevés que dans le lait, résultant du procédé de fabrication qui utilise environ 25 litres de lait pour fabriquer 3 kg de fromage.

Certains échantillons d'herbes à Mandres-en-Barrois et Ribeaucourt, et de foin à Saudron présentent des niveaux de radioactivité de 0,17 $mBq.kg^{-1}$ sec maximum en ^{238}Pu, variant entre 0,3 $mBq.kg^{-1}$ et 5,1 $mBq.kg^{-1}$ sec en $^{239+240}Pu$ et variant entre 1,22 $mBq.kg^{-1}$ et 2,14 $mBq.kg^{-1}$ sec en ^{241}Am. Les rapports isotopiques $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ sont tous très proches de 0,03, caractéristiques des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires.

Les niveaux de radioactivité en ^{137}Cs (marqueur des accidents nucléaires) sont souvent au-dessus des limites de détection. Il a été détecté à hauteur de 0,1 Bq/kg à 0,8 Bq/kg sec dans l'herbe, le foin, le colza, les légumes feuilles et la viande de mouton et à hauteur de 0,01 Bq/kg à 0,08 Bq/kg sec, dans le blé, les pommes de terre, l'ensilage de maïs, le Brie de Meaux et la viande de bœuf. Enfin, sa présence a été évaluée à un niveau inférieur à 0,01 Bq/L dans les quatre échantillons de lait.

En conclusion, la radioactivité mesurée dans les produits agricoles de l'aire d'étude éloignée est très faible, principalement d'origine naturelle, et représentative d'une zone à l'écart des activités nucléaires actuelles. Quelques éléments radioactifs d'origine artificielle issus de sources connues telles que les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires ou encore d'accidents nucléaires comme Tchernobyl ont été enregistrés en adéquation avec les niveaux nationaux mesurés.

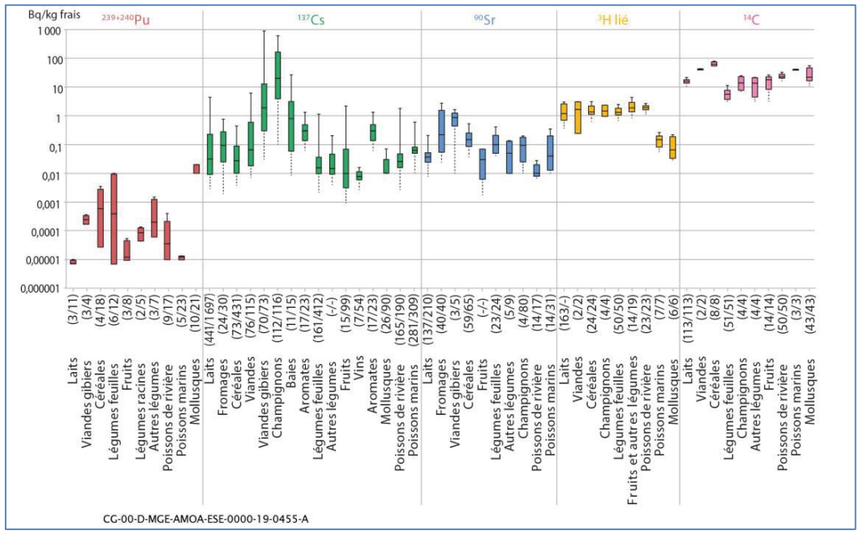


Figure 4.2-6 *Niveaux de radioactivité moyens des principaux éléments radioactifs artificiels présents dans les denrées produites en France (source IRSN, 2018).*

b) Les polluants actuellement présents dans les produits issus de l'agriculture.

Certains micropolluants peuvent se trouver dans les produits issus de l'agriculture. Leur présence peut être d'origine naturelle, liée à la nature des sols et aux sédiments présents dans l'environnement. Il s'agit en particulier de métaux : plomb, cadmium... Mais elle peut être également induite par les trafics routiers, les pratiques industrielles.

Afin d'avoir une première approche des teneurs en polluants présents, des analyses ont été réalisées entre 2009 et 2015 sur des échantillons issus des productions agricoles locales : lait et fromages, céréales (principalement blé et orge) et prairies (luzernes, herbes). Plus de 90 échantillons ont été analysés (cf. Figure 4.2-7). Les éléments recherchés sont les nitrates, les métaux (arsenic, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont la présence pourrait être imputée ultérieurement à la création du centre de stockage Cigéo.

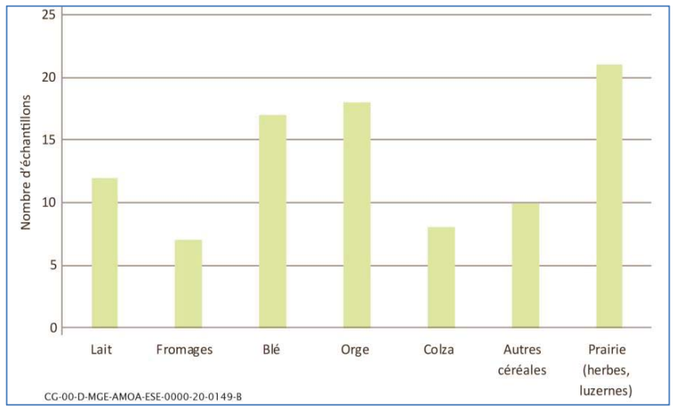


Figure 4.2-7 Échantillons analysés

Les résultats sont comparés aux valeurs règlementaires précisées dans le Règlement (CE) n° 1881/2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires.

Les analyses de lait et de fromages n'appellent pas de remarque particulière. Il en est de même pour la grande majorité de celles réalisées sur les échantillons de céréales et ceux prélevés en prairie. En effet, seuls deux échantillons, un de blé et un de colza, ont présenté en 2009, une concentration pour un polluant, le plomb, respectivement de 0,23 mg/kg et 0,26 mg/kg, supérieure à la valeur réglementaire de 0,20 mg/kg.

Ces analyses seront complétées par une nouvelle campagne avant le démarrage des travaux.

4.2.7 Choix des sites de mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts

Pour réduire les incidences agricoles des mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts sur des surfaces agricoles, l'Andra a privilégié des sites non exploités ou à faible potentiel de production au sein des réserves foncières déjà constituées (cf. Tableau-4.2-4 et tableau 4.2-5).

Parmi les sites retenus, celui de Lamorville qui couvre plus de 52 ha n'est plus exploité depuis 2007. Les mesures environnementales proposées sur ce site permettront non seulement de favoriser la biodiversité mais également de redonner une fonctionnalité agricole avec le développement possible d'un élevage d'ovins.

Sur les autres sites retenus hors zone d'intervention potentielle de la zone descenderie, soit une surface de 100 ha environ, les mesures envisagées sont compatibles avec le maintien d'une activité agricole en lien avec les attentes de la société pour une agriculture protectrice de son environnement. En effet, le cahier des charges de ces mesures va amener à un changement des pratiques agricoles favorisant la diversité et l'allongement des rotations culturales tout en donnant une place plus importante aux surfaces en herbe. Ces changements porteront également sur les techniques culturales qui devront tendre vers des systèmes de culture du type agriculture de conservation et agriculture biologique.

Toutes ces mesures seront proposées aux exploitants agricoles qui souhaiteront s'engager dans cette démarche via des baux ruraux environnementaux contractés avec l'Andra qui sera propriétaire de ce foncier pour assurer la pérennité des mesures sur une période de 50 ans.

Le choix de ce dispositif et du programme de mesures ont été établis pour maintenir une valorisation agricole de ces surfaces afin de réduire les effets négatifs de cette compensation environnementale pour l'économie agricole qui en dépend.

En se rapportant au chapitre 3.6.4 du présent document, l'incidence financière de ses mesures pour l'activité agricole représente une dette de 16 534 € soit (100 €.ha^{-1}.an^{-1}) alors qu'elle s'élève 879 €.ha^{-1}.an^{-1} dans le cas du retrait définitif des surfaces agricoles. Ce dispositif des mesures compensatoires environnementales a fortement limité l'impact financier pour l'économie agricole en ayant adapté les mesures pour maintenir une valorisation agricole.

Tableau-4.2-4 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces prairiales

Sites	Dép.	État initial	Surface des mesures	Distance du Centre de stockage Cigéo
Saudron **Bande ouest sur la zone descenderie**	52	Culture	9,6 ha	-
Lamorville **Site ouvert situé à proximité de l'Abbaye de l'Étanche**	55	Friche/Pelouse	23,3 ha	52 km
Morley-Couvertpuis **Prairies**	55	Prairie	20,2 ha	9 km
Gondrecourt-le-Château **Site de Ruère en bordure de lisière**	55	Lisière	1,5 ha	6 km

Tableau 4.2-5 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces des milieux cultivés

Sites	Dép.	État initial	Surface des mesures	Distance du Centre de stockage Cigéo
Saudron **Parcelle le long de l'Orge sur la zone descenderie**	55	Culture	18 ha	-
Bertheléville	55	Culture	8,2 ha	11 km
	55	Culture	36,2 ha	
Gondrecourt-le-Château	55	Culture	13,4	15,5 km
Thonnance-les-moulins	52	Culture	22,0 ha	10 km
Cirfontaines-en-Ornois	52	Culture	5,8 ha	5 km
Horville-en-Ornois	55	Culture	6,7 ha	9,5 km
Lamorville **Site ouvert situé à proximité de l'Abbaye de l'Étanche**	55	Friche/Pelouse	28,9 ha	52 km

4.3 Mesures envisagées non retenues

Différentes mesures ont été étudiées au cours de la conception du centre de stockage Cigéo mais n'ont pas été retenues à l'issue des analyses multicritères et des échanges avec les acteurs du territoire dont la profession agricole.

Parmi ces mesures non retenues :

- l'aménagement des installations de surface hors de toute surface agricole : le choix correspond à une implantation partagée des installations entre les surfaces agricoles et les surfaces boisées ;
- l'utilisation d'une bande transporteuse aérienne par câble pour le transport des matériaux entre la zone descenderie et la zone puits de la liaison intersites C'est un convoyeur semi-enterré, bien que nécessitant une emprise au sol et donc une consommation de terres agricoles plus importante qui a été préféré lors des réunions de concertation, afin de favoriser l'intégration paysagère et de réduire les nuisances sonores et les émissions de poussières.

4.4 Synthèse des principales mesures d'évitement et de réduction

Toutes les mesures d'évitement et de réduction présentées ci-dessus ont contribués à réduire les effets négatifs du projet pour l'économie agricole du territoire. Toutefois, elles se sont révélées insuffisantes et conduisent à une évaluation des incidences économiques résiduelles qui doivent faire l'objet d'une compensation collective (cf. Chapitre 3.6 du présent document). (cf. Tableau 4.4-1).

Tableau 4.4-1 Synthèse des principales mesures d'évitement et de réduction

Mesures	Modalités
Mesures d'évitement	
Choix d'implantation des deux zones d'installation de surface	Répartition partagée des installations de surface entre forêt et agricole
Choix d'implantation des aménagements linéaires	Réutilisation d'infrastructure existante Optimisation des aménagement
Évitement des bâtis agricoles	Aucun bâtiment agricole dans les surface aménagées
Préservation des surfaces agricoles au-dessus de la zone d'implantation des ouvrages souterrains	La profondeur des ouvrages souterrains est suffisamment importante pour ne pas impacter les surfaces agricoles
Maintien des surfaces agricoles par exploitation	Échanges de foncier pour compenser les surfaces sous emprises de chaque exploitation
Préservation des surfaces agricoles pour les mesures compensatoires sylvicoles	Choix des sites de reboisement sur des surfaces forestières
Évitement des émissions de poussières et polluants dans l'air	Bande transporteuse semi-enterrée/filtration des rejets
Protection de la ressource en eau	Aucun rejet n'est, même après traitement, effectué dans les eaux souterraines. Tous les effluents liquides susceptibles de contenir d'éventuelles traces de radioactivité évacuées vers des installations de traitement autorisées.

Mesures	Modalités
Mesures de réduction	
Gestion des réserves foncières agricoles	Maintien en exploitation jusqu'au début des travaux
Maintien et rétablissement des dessertes agricoles	Reconstitution des dessertes agricoles (peu ou pas d'allongement de parcours)
Maintien des réseaux de drainage	Reconstitution de réseaux de drainage pendant les travaux (peu de parcelles drainées)
Contrôle des risques de dissémination d'espèces invasives	Balisage des secteurs concernés et traitement spécifique
Contrôle des émissions de particules et de gaz	Traitement spécifiques des émissions de particules et de gaz pendant les phases de chantier et d'exploitation
Suivi de la qualité des productions agricoles	Prélèvements et analyses des productions agricoles
Choix des sites de mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts	Implantation privilégiée sur les parcelles à faible potentiel de production déjà en réserve - Remise en culture de certaines terres en friche

Synthèse : 4 - Mesures d'évitement et de réduction des effets négatifs du projet

Toutes ces mesures d'évitement et de réduction ont fondamentalement limité les effets négatifs du centre de stockage Cigéo pour l'ensemble des acteurs économiques agricoles et plus particulièrement les exploitations agricoles concernées par les emprises de la zone d'intervention potentielle. La constitution anticipée de réserves foncières et la concertation avec la profession agricole ont permis de palier aux principales difficultés d'installation d'un projet industriel en milieu rural. Toutefois, des effets résiduels de ce projet pour l'économie agricole du territoire ont été identifiés et évalués (cf. Chapitre 3 du présent document).

5

Mesures de compensation collective

5.1 Modalités de compensation 224
5.2 Constitution et modalités de gestion du fonds de compensation 226
5.3 Principes de mise en œuvre de la compensation agricole collective 228

Malgré l'ensemble des mesures d'évitement et de réduction mises en œuvre, subsistent des effets négatifs résiduels du projet global Cigéo pour l'économie agricole nécessitant, conformément à la démarche « Éviter, réduire, compenser », des mesures de compensation, dans le respect des dispositions instaurées par la loi d'avenir agricole de 2014 et précisées par le décret n° 2016-1190 du 31 août 2016 relatif à l'étude préalable et aux mesures de compensation prévues à l'article L. 112-1-3 du code rural et de la pêche maritime.

5.1 Modalités de compensation

Les mesures de compensation collective doivent permettre de consolider l'économie agricole du territoire. Elles ont pour objectif d'apporter une valeur ajoutée collective pour le territoire concerné par les incidences économiques négatives du projet global Cigéo. Plusieurs modalités de compensation collective sont possibles :

- **Compensation foncière**, à travers la recherche de foncier disponible, notamment par la mise en œuvre de la procédure des terres incultes manifestement sous-exploitées, la réhabilitation de friches ou de l'aménagement foncier (au-delà des obligations légales) ;
- **Compensation financière**, via un fonds de compensation, dédiée à la réalisation de projets destinés à conforter l'économie agricole du territoire concerné.

5.1.1 Dispositif de compensation retenu

Le territoire concerné est un territoire très rural. Une compensation via une extension des surfaces agricoles par la reconquête d'emprises foncières délaissées n'est pas envisagée. Les friches sont rares et difficilement accessibles pour être cultivables. Des demandes de mise en culture d'anciens terrains militaires ont été refusées face aux risques de faire exploiter des sols potentiellement pollués (présence d'anciennes munitions…).

La solution privilégiée consiste à la mise en place d'un fonds de compensation. Cette source de financement est orientée vers des projets économiques novateurs et ne devant pas se substituer à d'autres dispositifs de soutien déjà en vigueur (subventions FEADER[33], Région, Agence de Bassin…).

Cette compensation doit s'inscrire dans l'un des régimes d'aides connus de la Commission[34] :. Il s'agit des régimes déjà notifiés ou transmis pour information par l'État à la Commission européenne et validés par elle. Les versements effectués au titre de la compensation seraient ainsi possibles sans requérir d'avis spécifique auprès de la Commission européenne. Il existe 11 régimes notifiés encadrant des systèmes d'aides pouvant correspondre aux besoins d'entreprises liées au secteur agricole perturbé par un important prélèvement foncier (cf. Tableau 5.1-1 et Annexe 6).

Tableau 5.1-1 11 régimes notifiés

SA 39816 : aides aux investissements dans les exploitations agricoles liés à la production primaire
SA 39677 : aides aux actions de promotion des produits agricoles
SA 40417 : transformation et commercialisation de produits agricoles

[33] FEADER : le Fonds européen agricole pour le développement rural est un instrument de financement et de programmation de la politique agricole commune et plus particulièrement du « second pilier » de la PAC, le premier pilier étant consacré aux « mesures de marché » et aides dites « de surface ».

[34] « Il s'agit des régimes déjà notifiés ou transmis pour information par l'État à la Commission européenne et validés par elle, à l'intérieur desquels pourraient s'inscrire notamment les soutiens financiers, sans qu'il soit nécessaire de requérir un avis spécifique de la Commission. » - Instruction technique DGPE/SDPE/2016-761.

SA 40833 : conseil pour les PME dans le secteur agricole
SA 40957 : recherche et développement dans le secteur agricole (et forestier)
SA 40979 : transfert de connaissance et actions d'informations dans le secteur agricole
SA 41652 : système de qualité
SA 39252 : aides à finalité régionale
SA 40207 : aides à la formation en entreprise, hors secteur agricole
SA 40206 : infrastructures locales
SA 40391 : recherche, développement innovation hors secteurs agricole et forestier

Ce fonds de compensation pourra accompagner les filières agricoles de la production, de la transformation et de la commercialisation à des fins de modernisation des outils industriels existants pour les sécuriser et améliorer leur compétitivité ou bien le développement de nouvelles filières de production et de transformation à forte valeur ajoutée à vocation alimentaire ou énergétique. La mise en œuvre de cette compensation ne doit pas remettre en cause la viabilité économique des filières existantes. Elle s'inscrit dans un contexte agricole sous tension et en pleine évolution face aux nouvelles contraintes économiques, environnementales et sociétales.

5.1.2 Évaluation du montant de la compensation pour le projet global Cigéo

Compte-tenu des enjeux associés aux modalités de compensation et aux délais de mise en œuvre des projets, l'évaluation de la compensation financière globale qui alimentera le fonds de compensation repose d'une part sur la perte annuelle de valeur ajoutée développée au chapitre 3.6 et d'autre part sur le délai nécessaire au développement des projets sur le territoire. Pour établir ce chiffrage, deux approches complémentaires peuvent être employées :

- **Une approche forfaitaire** d'un montant égal à la perte annuelle de valeur ajoutée proratisée par les ratios moyens de rentabilité de projets agricoles et leurs délais de mise en œuvre. Cette approche est basée sur des ratios d'investissement dans les filières agricoles qui permettent d'établir la rentabilité économique des fonds engagés sur différents projets. Elle présente l'avantage d'établir assez rapidement la compensation financière mais a l'inconvénient de rester très vague sur le programme de mesures et sa mise en œuvre. De fait, la compensation finale peut être sujette à discussion et/ou négociation.
- **Une approche ajustée** à un programme de développement agricole du territoire : cette deuxième approche nécessite de mener un travail de fond sur la stratégie de développement agricole qui serait accompagnée par le fonds de compensation. Elle présente l'avantage d'engager rapidement les moyens pour limiter l'impact financier des filières agricoles.

Compte tenu des délais nécessaires au développement de projets économiques agricoles et par retour d'expérience, une période de 5 ans à 10 ans est souvent constatée pour leur pleine réalisation.

Dans le cadre du projet global Cigéo, le calcul du montant du fonds de compensation repose sur une approche mixte prenant en compte d'une part les emprises foncières définitives (347 ha à 415 ha) proratisées par la perte financière annuelle et d'autre part l'application d'un coefficient de temporalité afin d'intégrer le délai de développement des projets (cf. Tableau 5.1-2).

Tableau 5.1-2 Emprises foncières agricoles du projet Global Cigéo

Installations	Emprises agricoles	
	Emprise minimale (ha)	Emprise maximale (ha)
Emprise agricole des installations de surface du centre de stockage Cigéo (+ marge d'incertitude 68 ha)	320	388
Poste RTE 400 kV et Ligne 400 kV	6	
Déviation route départementale D60/960	9	
Rétablissements de la ligne ferroviaire 027000	9	
Réseau d'adduction d'eau	1	
Opération de caractérisation et surveillance	2	
Total	**347**	**415**

Ainsi, le montant total de la compensation pourrait varier de 1,8 à plus de 4,4 millions d'euros (cf. Tableau 5.1-3) :

Tableau 5.1-3 Estimation du montant de compensation collective agricole pour le projet Global Cigéo

	Estimation perte annuelle	Durée de développement	
		5 ans	10 ans
Surface minimale (347 ha)	370 193 €	1 850 965 €	**3 701 930 €**
Surface maximale (415 ha)	439 485 €	2 197 425 €	**4 394 850 €**

Compte-tenu de l'importance des enjeux agricoles du territoire concerné, le montant maximum de la compensation collective est évalué à 4,4 millions d'euros. Le montant final devant alimenter le fonds de compensation sera ajusté en fonction des surfaces définitives du projet global Cigéo. Cette compensation n'a pas vocation à perdurer mais à aider au développement de projets novateurs.

5.2 Constitution et modalités de gestion du fonds de compensation

La constitution du fonds de compensation pourra intervenir au plus tôt après l'obtention de la Déclaration d'utilité publique (DUP) et des premières autorisations de travaux (environnementales et d'urbanisme) concernant des terres agricoles. Ces premières autorisations devraient intervenir à l'horizon 2023.

L'organisation de la gestion de ce fonds de compensation doit permettre :

- d'en garantir la constitution ;
- d'en assurer la bonne gestion en toute transparence pour l'attribution des fonds.

Ainsi,

- **Pour garantir la constitution du fonds de compensation** :

  La constitution du fonds de compensation est envisagée sous différentes formes en fonction de l'évolution des textes applicables :

  - ✓ Suite à la loi n° 2020-734 du 17 juin 2020[35], l'Andra Établissement public industriel et commercial serait tenue de déposer sur le compte du Trésor ses disponibilités. Ces dispositions législatives devraient intervenir d'ici la fin de l'année 2020. Le fonds de compensation pourrait rentrer dans le champ d'application de cette loi. Toutefois, l'Andra envisagerait alors de demander à bénéficier d'une dérogation auprès de l'AFT[36] pour consigner le fonds de la compensation agricole collective auprès de la Caisse des dépôts et consignations.
  - ✓ L'Andra étudie, en concertation avec la Caisse des dépôts et consignations[37], la possibilité de lui verser le fonds de compensation dans le cadre du dispositif légal de la consignation. En application de l'article L. 518-17 du code monétaire et financier, la CDC est en effet chargée de recevoir les consignations ordonnées par une décision administrative. Ce mécanisme a déjà été mis en œuvre, au titre de la compensation collective agricole, dans trois départements (Indre-et-Loire, Somme, Haute Garonne). Après la signature d'une convention, le Préfet prend un arrêté qui fixe le principe et les modalités de la consignation du fonds de compensation auprès de la CDC sur le fondement de l'article L. 518-17 du code monétaire et financier. L'Andra souhaite privilégier cette solution.
  - ✓ À défaut de consignation du fonds de compensation auprès de CDC ou de son dépôt auprès du Trésor Public, l'Andra procéderait à l'ouverture d'un compte dédié auprès d'un organisme bancaire. Ce compte serait géré de façon indépendante des autres comptes bancaires de l'Andra. L'exécution et la signature des règlements à partir de ce compte seraient encadrées par des pouvoirs bancaires stricts garantissant une sécurité optimale dans la chaine des règlements.

- **Pour assurer la bonne gestion du fonds de compensation** : le déblocage des fonds alloués au financement des projets retenus sera exécuté après avis du comité de pilotage (cf. chapitre 5.3 ci-dessous).
  - ✓ Dans le cas d'une consignation du fonds de compensation auprès de la CDC, les décisions du comité de pilotage concernant les demandes de versements feront l'objet d'un arrêté préfectoral.
  - ✓ Dans le cas d'un dépôt du fonds de compensation au Trésor ou de la création d'un compte Andra dédié, les décisions du comité de pilotage concernant les demandes de versements seront remises au donneur d'ordre de l'Andra ayant les pouvoirs pour faire procéder aux demandes de versements. L'exécution et la signature des règlements à partir de ce compte seraient encadrées par des pouvoirs bancaires stricts garantissant une sécurité optimale dans la chaine des règlements Les Commissaires aux comptes de l'Andra effectueront une revue annuelle de la tenue du compte bancaire et des règlements effectués. Les relevés du compte bancaire seront mis à la disposition du Comité de Pilotage et un reporting annuel comportant l'analyse du compte bancaire et de ses mouvements sera effectué.

---

[35] Loi n° 2020-734 du 17 juin 2020 – Article 58 : I - Dans les conditions prévues à l'article 38 de la Constitution, le Gouvernement est autorisé à prendre par ordonnances, dans un délai de six mois à compter de la publication de la présente loi, les mesures relevant du domaine de la loi destinées, afin d'améliorer la gestion de la trésorerie de l'État, à prescrire, sous réserve de l'article 26 de la loi organique n° 2001-692 du 1er août 2001 relative aux lois de finances, le dépôt sur le compte du Trésor des disponibilités des personnes morales soumises aux règles de la comptabilité publique et d'organismes publics ou privés, établis par la loi, chargés d'une mission de service public et dont les disponibilités sont majoritairement issues de ressources prévues par la loi, à l'exclusion des organismes qui gèrent un régime de retraite, des organismes listés à l'article L. 312-1 du code de l'action sociale et des familles et des caisses créées en application du 9° de l'article 53 de la loi n° 71-1130 du 31 décembre 1971 portant réforme de certaines professions judiciaires et juridiques.

[36] AFT : L'Agence France Trésor est un service à compétence nationale français chargé de gérer la dette et la trésorerie de l'État

[37] Caisse des dépôts et consignations : la Caisse des dépôts et consignations (CDC) est une institution financière publique qui exerce des activités d'intérêt général.

Étude préalable agricole du projet global Cigéo
Mesures de compensation collective

L'existence de ce fonds étant limitée à son épuisement, il n'est pas envisagé de créer une structure particulière de type GIP (Groupement d'Intérêt Public), GIE : (Groupe d'intérêt Économique) ou association loi du 1er juillet 1901 pour assurer sa gestion. Il sera géré par un comité pilotage (cf. Chapitre 5.3.2 du présent document).

5.3 Principes de mise en œuvre de la compensation agricole collective

Pour préparer et procéder à la mise en œuvre de la compensation collective agricole du projet global Cigéo 4 phases sont définies :

1. Mobilisation des acteurs agricoles locaux pour identifier les projets à développer
2. Installation d'un comité de pilotage (COPIL) et définition de ses missions
3. Conduite des appels à projets
4. Suivi des projets

Chacune de ces phases décrive les actions déjà engagées et à mener pour garantir la mobilisation des acteurs agricoles, assurer la bonne conduite des appels à projets et leur réalisation afin de conforter l'économie du territoire.

5.3.1 Phase 1 : mobilisation des acteurs locaux pour identifier les projets à développer

Cette phase menée en 2018 et 2019 a permis de mobiliser les acteurs agricoles locaux pour l'identification de projets de développement économique qui pourraient relever de la compensation agricole de par leur nature et leur dimensionnement à l'échelle du territoire concerné. Cet inventaire a été mené dans le cadre d'une concertation locale en sollicitant d'une part les exploitants agricoles et d'autres part les opérateurs économiques en quête de modernisation, de diversification et développement de nouvelles filières de production et/ou de transformation.

5.3.1.1 Mobilisation des exploitants agricoles

Dès 2018, les chambres départementales d'agriculture de Meuse et de Haute-Marne ont initié cette démarche auprès des agriculteurs locaux (70 exploitants présents dans un rayon de 15 km autour de Bure) en les sollicitant à partir d'un questionnaire et d'une réunion d'information (15 juin 2018 à Bure) sur le dispositif de compensation qui serait prochainement mis en œuvre.

Plusieurs thématiques ont été identifiées :

- mise en en place de filières de biomasse énergétique (méthanisation, bois énergie, miscanthus…) ;
- implantation de filières valorisant de nouvelles cultures pérennes (safranière, vergers, vignes…) ;
- implantation d'une unité de valorisation de la luzerne (en lien avec l'AOP Brie de Meaux, protection captage…) ;
- création de plateformes collectives de traitement des céréales (tri, séchages, stockage…) ;
- développement et diversification des filières d'élevage locales (viandes blanches, œufs, outils de transformations.

Ces projets offriraient aux exploitations agricoles du secteur la possibilité de :

- diversifier leurs activités afin de pérenniser les entreprises, par le biais d'un revenu complémentaire ;
- mieux gérer et valoriser les effluents et sous-produits agricoles produits sur le territoire ;

- fertiliser les surfaces agricoles avec une optimisation économique grâce à la production d'un digestat valorisé par un retour au sol permettant la substitution d'une partie des engrais minéraux utilisés ;
- participer à la production d'énergie renouvelable, à sa valorisation locale, et à la réduction des consommations d'énergie fossile à l'échelle locale, dans le cadre d'un développement durable ;
- sécuriser la ressource fourragère pour les éleveurs soumis à de nouvelles contraintes de production défini dans le nouveau cahier des charges de l'AOP/IGP Brie de Meaux ;
- assurer le développement d'une nouvelle filière de production et de transformation à base de luzerne dans un contexte environnemental de plus en plus contraint.

5.3.1.2 Mobilisation des opérateurs économiques des filières agricoles

Une approche similaire organisée le 18 septembre 2019 (Saudron-dép.52) a réuni plus de 15 opérateurs économiques (coopératives agricoles, concessionnaires, entreprises privées de négoce, industriels du lait, fromagerie, producteurs d'aliments) et représentants de la Chambre de Commerce et d'Industrie avec la participation de la Mission Cigéo de la préfecture de Meuse.

Cette rencontre a donné lieu à un appel à manifestation d'intérêt sous forme de questionnaire adressé à l'ensemble des participants afin d'identifier les projets qui pourraient être développés sur le secteur dans le cadre du dispositif de compensation.

Cet inventaire a permis d'identifier plusieurs projets, pour lesquels une mobilisation est d'ores et déjà envisageable. Ces projets visent en particulier :

- à moderniser et développer les outils de production de l'industrie laitière et fromagère ;
- à favoriser la diversification des productions agricoles : production de protéines végétales et animales, culture de champignons... ;
- à développer des activités durables de production et de valorisation : production de biomasse-énergie, d'agro-matériaux...

Cette approche a fait apparaitre des possibilités de développement de projets pour créer de nouvelles filières de production et de transformation. D'autres pistes sont également envisagées pour pérenniser les activités agricoles du territoire et développer la diversification.

Cette mobilisation des acteurs agricoles du territoire démontre sa capacité à initier des projets novateurs dans l'intérêt collectif pour dynamiser l'économie agricole. Tous les acteurs agricoles du territoire concerné seront à nouveau sollicités dans le cadre de appels à projet.

Cette analyse a été exploitée par le groupe de travail réunissant les services de l'État (DDT 52 et 55, DRAAF, Préfecture Mission Cigéo), les représentants de la profession agricole (élus des chambres départementales d'agriculture 52 et 55) et l'Andra pour élaborer une grille de critères d'éligibilité des projets. Elle sera précisée par le comité de pilotage qui définira également les règles de financement (cf. Tableau 5.3-1).

Tableau 5.3-1 Définition des principaux critères d'éligibilité des projets collectifs de compensation économique agricole (Cigéo)

Critères	Principes
Régimes d'aides publiques	Le financement du projet doit s'inscrire parmi l'un des 11 régimes notifiés.
Opportunité	Le projet ne doit pas : • entrer en concurrence avec une activité similaire déjà existante, • venir en concurrence sur l'utilisation de la ressource de productions agricoles par d'autres filières. Le projet doit favoriser les projets innovants.
Collectif	Le projet doit démontrer qu'il pourra fédérer plusieurs acteurs économiques de divers maillons de la filière (préciser les acteurs économiques, hors financeurs) : • soit par la création d'une nouvelle filière (producteur/transformateur/Industriel) pouvant impliquer une organisation interprofessionnelle locale existante ou en devenir, • soit par le développement d'une filière existante pouvant impliquer une organisation interprofessionnelle locale existante ou en devenir.
Proximité	Le projet doit conforter ou renforcer une activité économique et générer des retombées économiques pérennes sur le territoire concerné soit : • par l'installation d'un outil industriel permettant la valorisation des ressources agricoles et/ou naturelles du territoire, • par la diversification des activités agricoles au sein du territoire.
Calendrier	La réalisation de projet doit être : • compatible avec les délais
Emplois	Le projet doit : • être source de nouveaux emplois sur le territoire sans fragiliser la pérennité des emplois existants, • permettre la préservation et la pérennisation des emplois existants.
Pérennité	La nature du projet doit garantir sa pérennité décennale par : • une étude de marché et de faisabilité économique, • la contractualisation d'engagement des partenaires
Financement	Principe de financement : • le porteur de projet devra démontrer que son projet ne peut exister qu'avec une ressource publique financière supplémentaire et seulement après avoir mobilisé toutes les aides publiques auxquelles le projet est éligible.
Retombées économiques	Le porteur de projet devra : • démontrer et chiffrer la plus-value attendue sur le territoire et pour les filières agricoles (valeur ajoutée, emploi...)
Contraintes réglementaires	Le projet devra démontrer qu'il est : • Réglementairement réalisable, • économe en espaces agricoles et naturels, • économe en consommation de ressources (eau, énergie), • en accord avec les réglementations agricoles en vigueur Egalim[38]

[38] Egalim : loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous

5.3.2 Phase 2 : création d'un comité de pilotage (COPIL) et définition de ses missions

Cette deuxième phase sera engagée après avis de l'étude préalable agricole par le Préfet. Elle consistera d'une part à mettre en place un comité de pilotage et d'autre part à définir ses missions pour assurer la bonne mise en œuvre du fonds de compensation.

5.3.2.1 Création d'un comité de pilotage

Il sera proposé aux membres du groupe de travail ayant participé à l'élaboration de cette étude, de se réunir à nouveau pour établir la composition du comité de pilotage.

Ce comité pourrait comprendre :

- des représentants de la mission Cigéo Préfecture (dép.52 et dép.55) ;
- des représentants de la DRAAF et des DDT (dép.52 et dép.55) ;
- des représentants d'organismes consulaires : Chambres d'agriculture et Chambres de Commerce et d'Industrie (dép.52 et dép.55) ;
- des représentants des filières économiques (agro-fourniture, machinisme, industrie laitière et fromagère, productions-animales et végétales…) ;
- des représentants d'autres entités (INAO, ODG, syndicales…) ;
- des représentants de l'Andra.

Une vigilance toute particulière sera portée pour s'assurer d'une bonne représentativité du territoire parmi les membres désignés.

5.3.2.2 Installation et missions du comité de pilotage

Après avoir identifié tous les membres participatifs, le comité de pilotage se réunira une première fois pour établir les modalités de fonctionnement lui permettant de conduire à bien la mise en œuvre du dispositif de compensation agricole du projet global Cigéo. Il devra entre autres définir son organisation, sa gouvernance et son calendrier de travail.

Le comité de pilotage aura pour principale mission de mener les appels à projet (AAP) et d'en assurer le suivi afin que le fonds de compensation soit pleinement valorisé sur le territoire. Il devra en particulier :

- veiller à la constitution du fonds de compensation ;
- établir les critères d'éligibilité au fonds de compensation (reprise du tableau 5.3-1) ;
- fixer les règles de financent ;
- organiser les appels à projet ;
- procéder à la sélection des projets ;
- établir la contractualisation entre les porteurs de projet, l'Andra et le comité de pilotage ;
- faire procéder aux versements des fonds alloués aux porteurs de projet (*via* l'Andra) ;
- contrôler la gestion comptable du fonds de compensation ;
- vérifier le suivi technico-économique des projets sélectionnés.

Pour mener ses missions, le comité de pilotage pourra solliciter une structure indépendante pour l'aider à mener les appels à projets et réaliser leur suivi. Il pourra ponctuellement convier aux réunions de travail des spécialistes pour partager leur expertise en fonction des besoins qui seront identifiés tout au long de la mise en œuvre de la compensation collective agricole. La fréquence des réunions de travail du comité de pilotage sera adaptée en fonction de l'évolution des appels à projets. Le comité de pilotage se réunira au minimum une fois par an pour établir un point d'avancement de la mise en œuvre de la compensation collective agricoles et pour veiller à la bonne gestion comptable du fond de compensation.

L'Andra, maître d'ouvrage assurera le financement (hors fonds de compensation) de la conduite des AAP et du suivi des projets. Cette participation financière est évaluée à 5 % du montant total du fond de compensation.

5.3.3 Phase 3 : conduite des appels à projets

Comme mentionné ci-dessus, le comité de pilotage a tout d'abord la mission majeure de s'assurer de la bonne conduite des appels à projet afin de veiller à la mise en œuvre de la compensation dans des délais adaptés aux enjeux agricoles du territoire. Il devra s'assurer que le cahier des charges mentionne tous les éléments nécessaires et utiles à sa bonne compréhension par les porteurs de projet pour atteindre objectifs fixés dans le cadre de la compensation collective agricole.

À la suite de l'appel à projet, le comité de pilotage procédera à l'évaluation des projets pour sélectionner ceux qui pourront bénéficier du fonds de compensation et arrêtera les financements alloués et les modalités de suivi.

Pour chaque porteur de projet retenu, l'Andra établira un contrat qui reprendra l'ensemble des conditions de l'appel à projet en précisant les modalités d'intervention et de résultat dans le cadre de cette compensation agricole et de son financement. Ce contrat sera soumis à validation par le Comité de pilotage.

5.3.4 Phase 4 : suivi des projets

Chaque porteur de projet devra produire et transmettre au comité de pilotage les éléments techniques et financiers nécessaires à son évaluation tout au long de la période d'engagement avec l'Andra.

Conformément à l'article D. 112-1-22 du code rural et de la pêche maritime, l'Andra informera annuellement le préfet de la mise en œuvre des mesures de compensation collective jusqu'à épuisement du fonds de compensation.

Cette compensation n'a pas vocation à perdurer mais à aider au développement de projets novateurs. L'effectivité de la compensation sera liée à l'utilisation de l'intégralité du fonds et ne sera pas limitée à une échelle de temps.

Synthèse : 5 - Mesures de compensation collective

Malgré la mise en œuvre de mesures d'évitement et de réduction, il n'en demeure pas moins que le projet global Cigéo impactera l'économie agricole. Les pertes financières annuelles induites par le retrait de surfaces agricoles, la réduction des aires d'appellation et les mesures compensatoires environnementales sont estimées pour le projet global Cigéo de 370 193 €.an^{-1} à 439 485 €.an^{-1} en fonction des emprises définitives qui peuvent varier de 347 ha à 415 ha.

La compensation repose sur la mise en place d'un fonds de compensation pour accompagner le financement de projets collectifs agricoles novateurs afin de générer une nouvelle valeur-ajoutée sur le territoire.

Compte-tenu des délais nécessaires à la réalisation de projets agricoles, un coefficient de temporalité de 10 ans a été fixé portant le montant maximum de la compensation 4,4 millions d'euros. Ce montant sera ajusté en fonction des emprises définitives du projet global Cigéo.

Afin de garantir la constitution du fonds de compensation, différentes modalités sont étudiées en fonction de l'évolution des textes applicables : demander à bénéficier d'une dérogation si obligation de dépôt au Trésor (loi n° 2020-734 du 17 juin 2020), consignation auprès de la Caisse des dépôts et consignations sur décision administrative ou à défaut l'ouverture par l'Andra d'un compte dédié auprès d'un organisme bancaire.

La constitution du fonds de compensation pourra intervenir au plus tôt après l'obtention de la Déclaration d'utilité publique (DUP) et des premières autorisations de travaux (environnementales et d'urbanisme) concernant des terres agricoles. Ces premières autorisations devraient intervenir à l'horizon 2023.

La gestion de ce fonds et la mise en œuvre de la compensation collective agricole seront soumis à l'avis d'un comité de pilotage réunissant les représentant de l'État, les organisations agricoles, les représentants des filières et l'Andra. Une vigilance toute particulière sera portée pour s'assurer d'une bonne représentativité du territoire parmi les membres désignés.

Ce comité de pilotage aura en particulier pour missions de définir les critères d'éligibilité, d'organiser la mise en œuvre des appels à projets, de veiller à ce que le fonds de compensation profite au plus près du territoire impacté.

L'effectivité de la compensation sera liée à l'utilisation de l'intégralité du fonds et ne sera pas limité à une échelle de temps.

6

Conclusion

Cigéo est le projet français de centre de stockage profond de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue, porté par l'Andra. Sa localisation en milieu rural en limite des départements de Meuse et de Haute-Marne conduira à des emprises agricoles comprises entre 347 ha et 415 ha selon les implantations définitives du projet global Cigéo. Ces emprises agricoles sont majoritairement localisées sur le département de la Haute-Marne.

Malgré les mesures d'évitement et de réduction, il n'en demeure pas moins des effets résiduels pour les filières économiques nécessitant des mesures compensatoires. Ces mesures doivent être mises en œuvre dans le respect des dispositions instaurées par la loi d'avenir agricole de 2014 et définies par le décret n° 2016-1190 du 31 août 2016 relatif à l'étude préalable et aux mesures de compensation prévues à l'article L. 112-1-3 du code rural et de la pêche maritime.

Après étude des enjeux agricoles du projet global Cigéo, les effets résiduels sur l'économie agricole ont été évalués en collaboration avec les opérateurs locaux, en particulier les chambres d'agriculture, les coopératives et l'expertise du centre de gestion Adhéo. Cette évaluation repose sur une estimation des pertes de valeur ajoutée pour les filières induit par le retrait de l'exploitation de surfaces agricoles, la réduction des surfaces de production dans les aires d'appellation, la modification des pratiques cultures pour les mesures compensatoires environnementales.

Il a été ainsi établi une perte totale annuelle estimée de **370 193 €.an^{-1}** à **439 485 €.an^{-1}** en fonction des emprises définitives du projet global Cigéo sachant qu'elles peuvent varier de **347 ha à 415 ha.**

Parmi les modalités de compensation possibles et étudiées, il a été retenu la constitution d'un fonds de compensation ayant pour objet le financement de projets agricoles contribuant à la consolidation de l'économie agricole du territoire concerné.

Pour définir le montant global alloué au fonds de compensation, un coefficient de temporalité de 5 ans à 10 ans est fréquemment appliqué à la perte financière annuelle pour intégrer les délais nécessaires au développement des projets. Compte-tenu des enjeux agricoles du territoire, un coefficient de temporalité de 10 ans a été fixé portant le montant maximum de la compensation **4,4 millions d'euros**. Ce montant sera ajusté en fonction des emprises définitives du projet global Cigéo.

Le montant financier correspondant à la compensation agricole sera exigible à l'horizon 2023.

Afin de garantir la constitution du fonds de compensation, différentes modalités sont étudiées en fonction de l'évolution des textes applicables : demander à bénéficier d'une dérogation si obligation de dépôt au Trésor (loi n° 2020-734 du 17 juin 2020), consignation auprès de la Caisse des dépôts et consignations sur décision administrative ou à défaut l'ouverture par l'Andra d'un compte dédié auprès d'un organisme bancaire.

La gestion de ce fonds et la mise en œuvre de la compensation collective agricole seront soumis à l'avis d'un comité de pilotage réunissant les représentant de l'État, les organisations agricoles, les représentants des filières et l'Andra. Tout au long du processus de mise en œuvre de la compensation agricole, un suivi des projets et une évaluation des retombées économiques seront établis afin d'en tenir informé le Préfet.

L'effectivité de la compensation sera liée à l'utilisation de l'intégralité du fonds et ne sera pas limité à une échelle de temps.

ATTENTION : Saisir le texte du chapitre en cours IMPÉRATIVEMENT avant la fin du signet ci-contre (crochet fermé)

ANNEXES

Annexe 1 Compensation écologique des milieux prairiaux

Les sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces prairiales sont listés dans le tableau ci-dessous :

Les sites sélectionnés

Tableau 1 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces prairiales

Site	Dép.	Surface totale du site	Distance du Centre de stockage Cigéo
Saudron **Bande ouest sur la zone descenderie**	52	9 ha	-
Lamorville **Site ouvert situé à proximité de l'Abbaye de l'Étanche**	55	80 ha	52 km
Morley-Couvertpuis **Prairies**	55	51 ha	9 km
Gondrecourt-le-Château **Site de Ruère en bordure de lisière**	55	153 ha	6 km

Les sites sélectionnés ont été pré-diagnostiqués par différents bureaux d'étude spécialisés faune-flore avec des observations ciblées sur les espèces à enjeux impactées. Ces études préalables ont fourni une première évaluation des différents niveaux d'intérêts des habitats et d'en déduire leurs potentialités de compensation écologique.

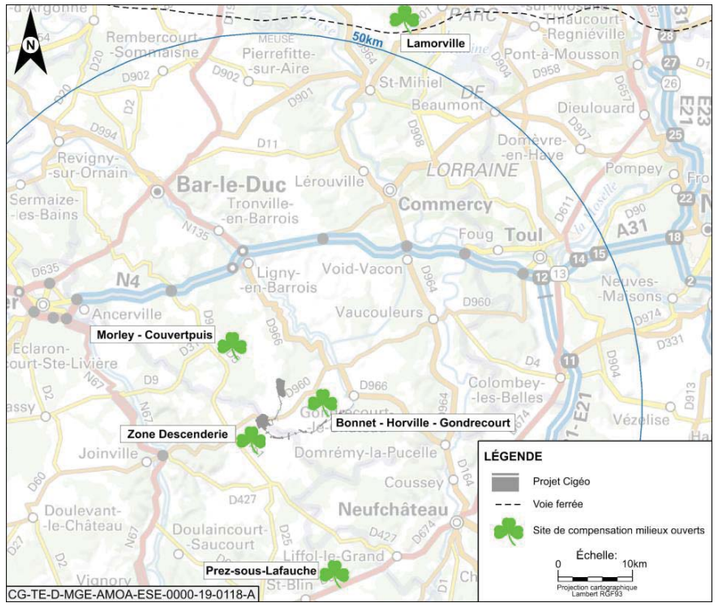


Figure 1 Localisation des sites de compensation écologique en milieux ouverts

Les mesures compensatoires environnementales des milieux prairiaux

De mesures compensatoires, spécifiques aux milieux prairiaux et à la faune et la flore associées, seront mises en œuvre sur les sites de compensation retenus, afin de combler la dette contractée sur ces mêmes milieux. La description de ces mesures, ainsi que les cortèges et espèces favorisées par leur application, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 Liste des mesures compensatoires en milieux prairiaux et cortèges et espèces patrimoniales protégées favorisées

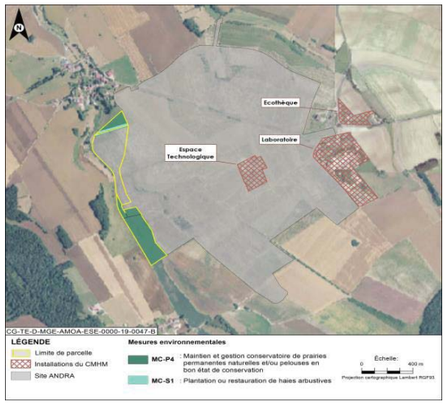
N°	Description de la mesure	Effets attendus de la mesure	Cortèges favorisés
MC P1	Recréation de prairies et/ou pelouses (à partir de terres arables ou de friches post-culturales)	Augmentation de la biomasse, zones d'alimentation, de repos et de nidification pour les cortèges favorisés Gain de biodiversité	Insectes, banque de graines, micromammifères, oiseaux des milieux ouverts et rapaces
MC P2	Restauration de prairies permanentes naturelles	Augmentation de la biomasse, zones d'alimentation, de repos et de nidification pour les cortèges favorisés Gain de biodiversité	Insectes, banque de graines, micromammifères, oiseaux des milieux ouverts et rapaces
MC P3	Restauration de pelouses calcicoles dégradées	Augmentation de la biomasse, zones d'alimentation, de repos et de nidification pour les cortèges favorisés Gain de biodiversité	Insectes, banque de graines, micromammifères, oiseaux des milieux ouverts et rapaces, reptiles
MC P4	Maintien à très long terme et gestion conservatoire de prairies permanentes naturelles et/ou pelouses en bon état de conservation	Augmentation de la biomasse, zones d'alimentation, de repos et de nidification pour les cortèges favorisés Gain de biodiversité	Insectes, banque de graines, micromammifères, oiseaux des milieux ouverts et rapaces

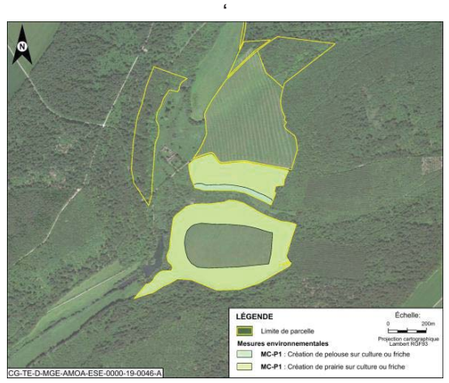
Des mesures complémentaires pourront également être mise en place sur certains sites lorsqu'elles sembleront pertinentes. La description de ces mesures, ainsi que les cortèges et espèces patrimoniales protégées favorisés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

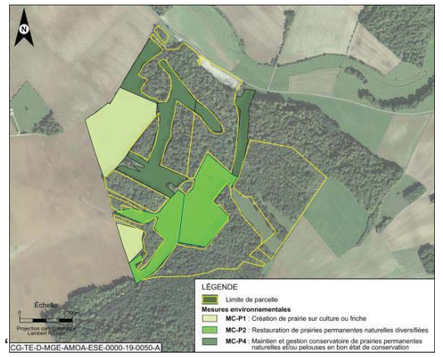
Tableau 3 Description des mesures complémentaires applicables aux milieux ouverts et cortèges et espèces favorisées

N°	Description de la mesure	Effets attendus de la mesure	Cortèges favorisés
MC S1	Plantation ou restauration de haies arbustives et arborées et favoriser les lisières stratifiées	Augmentation des fonctionnalités de l'écosystème Création de corridors de déplacement	Oiseaux des milieux ouverts, mammifères, micromammifères, reptiles, chiroptères
MC S2	Mise en place de bandes enherbées permanentes en pied de haie ou en lisière de forêt	Zone de repos et d'alimentation pour les cortèges favorisés	

N°	Description de la mesure	Effets attendus de la mesure	Cortèges favorisés
MC S5	Création d'hibernacula et d'abris en faveur des reptiles	Zones de repos et d'hibernation des cortèges favorisés	Reptiles
MC S6	Création de nichoirs artificiels pour les oiseaux	Zones de repos et de reproduction des cortèges favorisés	Oiseaux







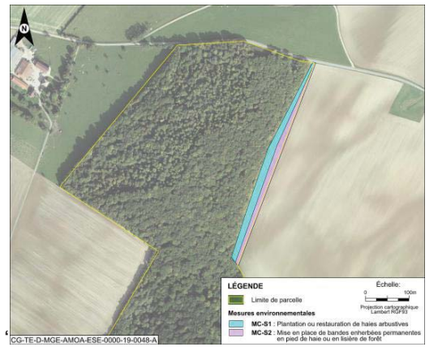


Figure 2 Répartition des mesures compensatoires par site pour les milieux prairiaux

Tableau 4 *Surfaces agricoles dédiées aux compensations environnementales (des espèces prairiales)*

Distribution des mesures par site		État initial	Surface Totale	Mesures environnementales						
				MCP1		MCP2	MC P3	MC P 4	MC S1	MC S2
				Recréation de prairies et/ou pelouses		Restauration de prairies permanentes naturelles diversifiées	Restauration de pelouses calcicoles dégradées	Gestion conservatoire	Haies	Bandes enherbées
				Pelouse	Prairie					
Milieux prairiaux	Code site		(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(m)	(m)
Zone descenderie	P0	Prairie	9,6					9,0	250	
Ruère	P1	Culture	1,5						490	490
Morley-Couvertpuis	P2	Prairie	20,2		5,9	7,2		7,0		
Abbaye de l'étanche	P3	Friche /Pelouse	23,3	1,3	22,1					
Total des surfaces de mesures des milieux prairiaux			54,6	1,3	28,0	7,2	0,0	16,0	740	490
Surface agricole en production hors installation Cigéo			21,7	0,0	5,9	7,2	0,0	7,0	490	490

Tableau 5 *Synthèse des gains compensatoires obtenus sur les sites de compensation en milieu prairial*

Site	Distance Cigéo (km)	Surface totale (ha)	Surface utilisée pour la compensation milieu ouvert (ha)	Gain (UC)
Bordure zone descenderie	0	9,5	9,6	7,2
Morley Couvertpuis	9	51	20,2	16,2
Abbaye de l'étanche	52	80	23,5	18,2
Ruère	6	153	1,5	2
Total			54,6	43,6

Annexe 2 Compensation écologique des milieux cultivés

Les parcelles de grandes cultures en agriculture conventionnelle dominent très largement les milieux ouverts dans le territoire dans lequel s'insère le projet global Cigéo. Elles sont très peu attractives pour la faune, du fait des traitements insecticides et herbicides systématiques. De plus, elles constituent une barrière aux déplacements pour de nombreuses espèces de faune vertébrée terrestre (reptiles, amphibiens, micromammifères). Cependant, elles sont fréquentées par nombre d'espèces d'oiseaux de milieux ouverts en recherche d'alimentation, notamment en période de migration et d'hivernage. De plus, lorsque des haies, des milieux buissonnants et des lisières sont présents, plusieurs espèces d'oiseaux des milieux ouverts et semi-ouverts y nichent.

Pour ces milieux, les espèces ciblées par les mesures compensatoires sont avant tout les oiseaux nicheurs des milieux ouverts et semi-ouverts fréquentant également les sites d'implantation du projet. Pour ces espèces, il convient donc d'associer des mesures surfaciques de création, restauration ou amélioration d'habitats ouverts à forte capacité d'accueil et d'alimentation de ces espèces, et des mesures de création ou de restauration d'éléments ligneux arborés et/ou arbustifs. En complément, les mesures visent à restaurer des corridors de déplacement pour la petite faune terrestre.

Sur ces parcelles, le projet principal est de convertir les pratiques agricoles à une agriculture plus raisonnée, par le passage à une exploitation en agriculture biologique (sans traitement phytosanitaire) ou de conservation (sans labour). Ceci augmente fortement la capacité d'alimentation des oiseaux des milieux ouverts. Lorsque cela est possible, il s'agit également de favoriser la création ou la restauration de prairies diversifiées, aussi propices aux oiseaux. Les mesures prairiales sont donc applicables pour répondre à la dette contractée sur les milieux cultivés, que ce soit sur des sites purement agricoles ou des sites non exploités, comme celui de l'Abbaye de l'Étanche.

En complément, et plus particulièrement pour les parcelles les plus grandes, il s'agira de mettre en place des haies fragmentant l'espace en parcelles plus petites et facilitant les déplacements de la petite faune terrestre, de mettre en place des bandes enherbées en lisière et en pied de haie, et de mettre en place une proportion de jachères tournantes de longue durée. Ces éléments seront mis en place à travers les mesures spécifiques MC S1 et MC S2.

Les sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces des milieux ouverts et des éléments ligneux associés sont listés dans le tableau ci-après. Ces sites sont des parcelles agricoles d'un seul tenant.

Les sites retenus

Tableau 1 Sites présélectionnés pour les mesures en faveur des espèces des milieux cultivés

Communes d'appartenance	Dép.	Surface totale du site	Distance du Centre de stockage Cigéo
Saudron **Parcelle le long de l'orge sur la zone descenderie**	55	15 ha	-
Bertheléville (Maldite)	55	10 ha	11 km
Bertheléville	55	36 ha	
Gondrecourt-le-Château	55	15 ha en lisière de forêt	15,5 km
Thonnance-les-moulins	52	25 ha	10 km
Cirfontaines-en-Ornois	52	6 ha	5 km
Horville-en-Ornois	55	4 ha	9,5 km

Communes d'appartenance	Dép.	Surface totale du site	Distance du Centre de stockage Cigéo
Lamorville **Ancienne parcelles cultivées situées à proximité de l'abbaye de l'étanche**	52	30 ha	52 km

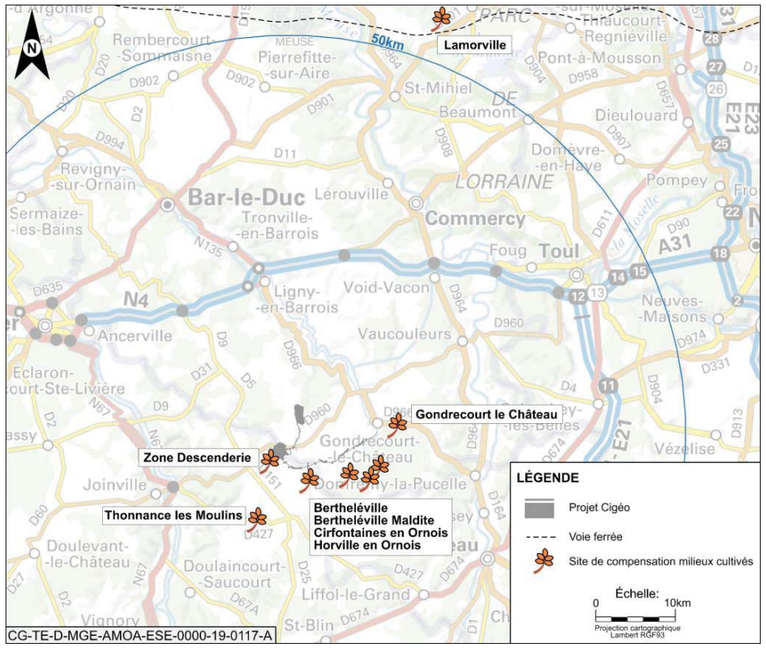


Figure 1 Localisation des sites de compensation écologique en milieux cultivés

Les sites sélectionnés ont été pré-diagnostiqués par différents bureaux d'étude spécialisés faune-flore avec des observations ciblées sur les espèces à enjeux impactées. Ces études préalables ont fourni une première évaluation des différents niveaux d'intérêts des habitats et d'en déduire leurs potentialités de compensation écologique.

Les mesures compensatoires environnementales des milieux cultivés

Afin d'obtenir le gain compensatoire prévu, plusieurs mesures seront appliquées sur les sites de compensation sélectionnés. Ces mesures, ainsi que les groupe faunistiques favorisés par leur application, sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 Liste des mesures compensatoires en milieux cultivés et cortèges et espèces patrimoniales protégées favorisées

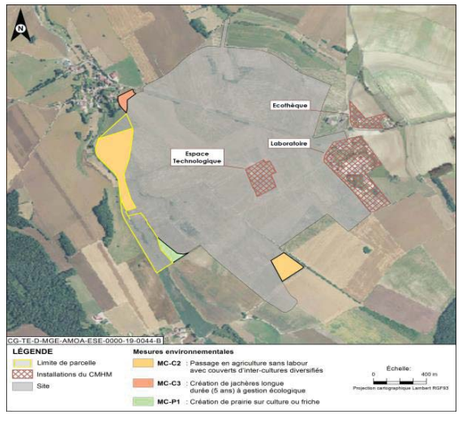
N°	Description de la mesure	Effets attendus de la mesure	Cortèges favorisés
MC C1	Passage en agriculture biologique ou sans labour pour les grandes cultures conventionnelles	Augmentation de la biomasse, zones d'alimentation pour les cortèges favorisés Gain de biodiversité	Micromammifères, insectes, oiseaux des milieux ouverts et semi-ouverts

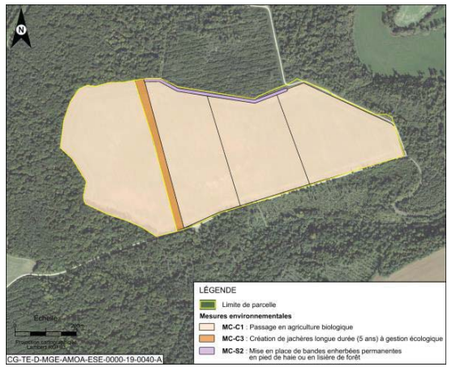
N°	Description de la mesure	Effets attendus de la mesure	Cortèges favorisés
MC C2	Mise en place de couverts d'intercultures diversifiés sur des parcelles agricoles non labourées	Lutte contre les adventices, préservation du sol, stockage du carbone atmosphérique, zones d'alimentation pour les cortèges favorisés Gain de biodiversité	Micromammifères, insectes (dont abeilles), flore microbienne du sol, oiseaux des milieux ouverts et semi-ouverts
MC C3	Création de jachères longue durée (5 ans) à gestion écologique à la place de parcelles agricoles	Augmentation de la biomasse, zones d'alimentation et de nidification pour les cortèges favorisés Gain de biodiversité	Insectes, banque de graines, micromammifères, oiseaux des milieux ouverts et rapaces

Seront également mises en place des mesures complémentaires, lorsque cela sera techniquement faisable et pertinent, de type création et/ou entretien de haies arbustives et de bandes enherbées. Les cortèges et espèces favorisées par ce type de mesures sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3 Listes des mesures complémentaires applicables aux milieux cultivés et cortèges et espèces favorisés

N°	Description de la mesure	Effets attendus de la mesure	Cortèges favorisés
MC S1	Plantation ou restauration de haies arbustives et arborées et favoriser les lisières stratifiées	Augmentation des fonctionnalités de l'écosystème Création de corridors de déplacement Zone de repos et d'alimentation pour les cortèges favorisés	Oiseaux des milieux ouverts, mammifères, micromammifères, reptiles, chiroptères
MC S2	Mise en place de bandes enherbées permanentes en pied de haie ou en lisière de forêt		





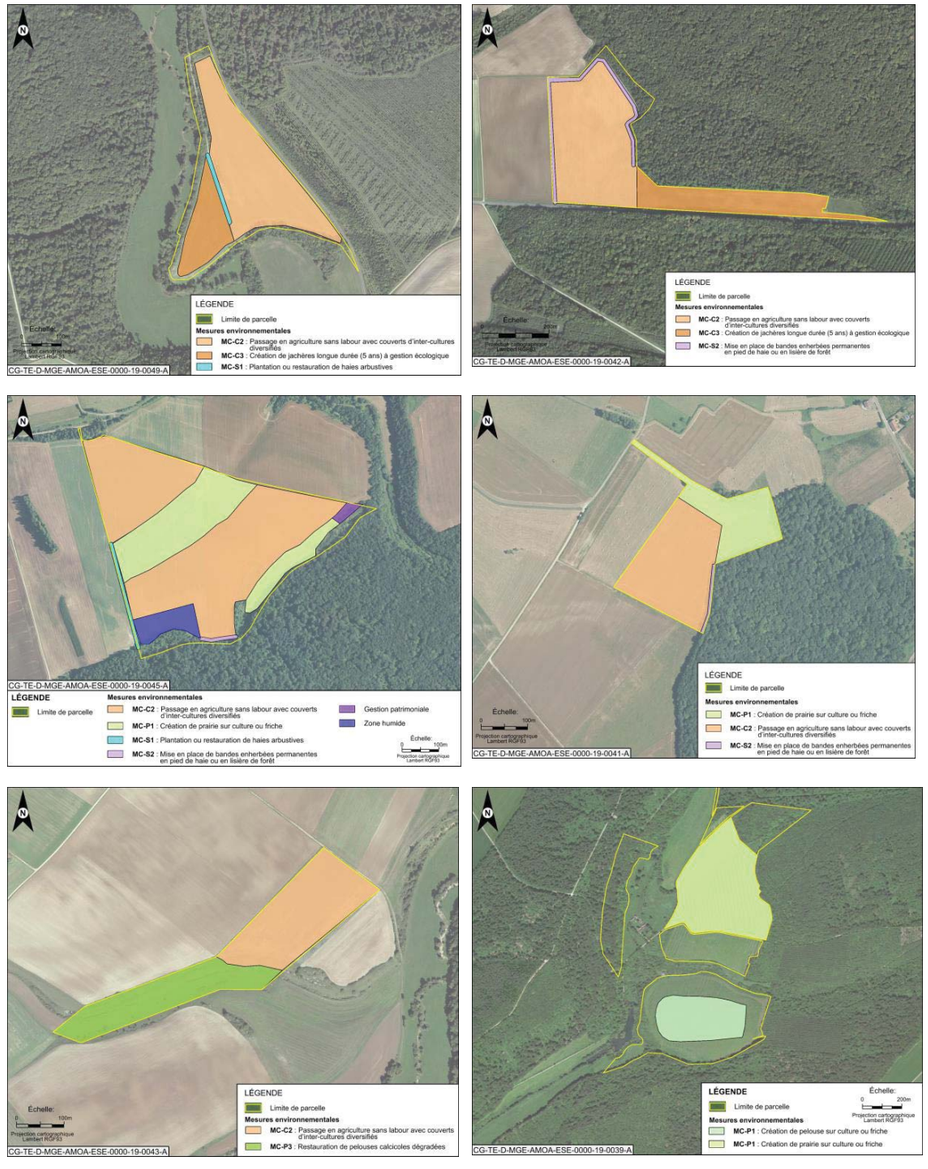


Figure 2 Répartition des mesures compensatoires par site pour les milieux cultivés

Pour chacune des parcelles retenues, actuellement en exploitation agricole intensive conventionnelle (d'intérêt I1 ou I2), l'application des mesures en faveurs des milieux cultivés MCC1, MCC2 permettra de passer à un niveau d'intérêt I3 pour l'ensemble des sites présélectionnés. La mise en place de zone de jachère longue durée (mesure MCC3) ou de prairie permanente de fauche et de pelouse en gestion extensive (mesure MCP1, P2 et P3) permettra pour certaines d'atteindre un niveau d'intérêt I4.

Conformément à la doctrine Andra, il n'y a pas de coefficient de temporalité appliqué aux milieux cultivés du fait de la rapidité d'atteinte des objectifs de compensation sur ces milieux.

Les besoins de compensation pour les milieux cultivés sont estimés à 158 UC (hors marge d'incertitude) pour les chantiers linéaires. Le gain des mesures compensatoires envisagées sur les parcelles retenues est de l'ordre de 153 UC.

Il convient de rappeler que les sites sélectionnés ont été pré-diagnostiqués par différents bureaux d'étude spécialisés faune-flore avec des observations ciblées sur les espèces à enjeux impactées. Ces études préalables ont fourni qu'une première évaluation des différents niveaux d'intérêts des habitats et d'en déduire leurs potentialités de compensation écologique. La présente étude fera l'objet d'actualisations au fur et à mesure de l'évolution des connaissances de l'ensemble des opérations du projet global, de l'intégration des conclusions des participations du public en cours ou à venir et de l'approfondissement de la conception du projet global. Les calculs de dettes et de gains seront ainsi affinés lors des prochaines versions de l'étude d'impact.

Tableau 4 Calcul du gain compensatoire milieux cultivés à terminaison

	Dép.	Commune	Surface totale (ha)	Surface utilisée pour la compensation milieu ouvert (ha)	Gain (UC)
Site de l'Orge le long de la zone descenderie	55/52	Bure/Saudron	9,5	16	23
Bertheléville	55	Dainville-Bertheléville	51	35	37
Bertheléville/Maldite	55	Dainville-Bertheléville	15	10	10
Gondrecourt le Château	55	Gondrecourt le Château	15	15	18
Thonnance les Moulins	52	Thonnance les Moulins	25,5	25,5	22
Cirfontaines-en-Ornois	52	Cirfontaines-en-Ornois	6	6	6
Horville-en-Ornois	55	Horville-en-Ornois	7	7	7
Abbaye de l'Étanche	55	Lamorville	81	29,5	29,5
Total surfaces				137	
Total Gains (UC créées)					153

Tableau 5 Surfaces agricoles dédiées aux compensations environnementales (milieux cultivés)

Distribution des mesures par site		État initial	Surface Totale	Mesures environnementales									
				MCP1		MCP2	MCP3	MCP4	MCC1	MCC2	MCC3	MCS1	MCS2
				Recréation de prairies et/ou pelouses		Restauration de prairies permanentes naturelles diversifiées	Restauration de pelouses calcicoles dégradées	Gestion conservatoire	Passage en agriculture biologique pour les grandes cultures conventionnelles	Passage en agriculture conservatoire	Jachère et prairie temporaire	Haies	Bandes enherbées
				Pelouse	Prairie								
Milieux cultivés	**Code site**		(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(m)	(m)
Zone descenderie	**C0**	**Culture**	18		1,5					13,3	1,2		
Gondrecourt-le-Château	**C1**	**Culture**	13,4							9,0	4,4		916
Bertheléville/Maldite	**C2**	**Culture**	8,2							6,2	2,0	180	
Bertheléville	**C3+**	**Culture**	36,2						35,0		1,2		490
Thonnance les Joinvilles	**C4**	**Culture**	22,0		6,2					15,8		300	100
L'abbaye de l'Étanche	**C5**	**Friche /Pelouse**	28,9	9,3	19,6								
Horville en Ornois	**C6**	**Culture /Pelouse**	6,7				2,9			3,9			
Cirfontaines-en-Ornois	**C7**	**Culture**	5,8		2,1					3,7			150
Total des surfaces de mesures des milieux cultivés			**137,3**	**9,3**	**29,4**	**0,0**	**2,9**	**0,0**	**35,0**	**51,9**	**8,8**	**480**	**1 656**

Distribution des mesures par site		État initial	Surface Totale	Mesures environnementales									
				MCP1		MCP2	MCP3	MCP4	MCC1	MCC2	MCC3	MCS1	MCS2
				Recréation de prairies et/ou pelouses		Restauration de prairies permanentes naturelles diversifiées	Restauration de pelouses calcicoles dégradées	Gestion conservatoire	Passage en agriculture biologique pour les grandes cultures conventionnelles	Passage en agriculture conservatoire	Jachère et prairie temporaire	Haies	Bandes enherbées
				Pelouse	Prairie								
Milieux cultivés	Code site		(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(m)	(m)
Surface agricole en production hors installation Cigéo			92,3	0,0	8,3	0,0	2,9	0,0	35,0	38,6	7,5	480	1 656

Annexe 3 Coûts des mesures compensatoires environnementales

Comparatif économique des systèmes de culture en Lorraine (Source Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine)

Références technico-économiques disponibles en région (Chambre Régionale d'agriculture de Lorraine[39], Arvalis Institut du Végétal[40], CGA de Lorraine[41], INRA[42]), 4 systèmes de cultures sont comparés pour établir cette évaluation. (cf. Tableau 3.2 6) :

- agriculture conventionnelle avec labour (Labour) ;
- agriculture en techniques culturales simplifiées (TCS) ;
- agriculture de conservation (semis-direct : SD) ;
- agriculture biologique.

Tableau 1 Charges intrants

Comparatif des systèmes de culture	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
	Labour	SDSC	SDSC/Labour	TCS	SDSC	SDSC/TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
1 - Charges intrants	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)
Semence couvert	0,0 €	7,0 €		4,0 €	7,0 €	175,0	15,0 €				
Semence culture principale	38,0 €	42,0 €	110,5	42,0 €	42,0 €	100,0	50,0 €	100,0 €			
Herbicides	25,0 €	35,0 €	140,0	40,0 €	35,0 €	87,5		42,0 €			
Autres traitements	61,0 €	64,0 €	104,9	65,0 €	64,0 €	98,5	20,0 €				

[39] Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine : organisme consulaire chargé de représenter l'ensemble des différents agents économiques de l'agriculture et d'accompagner les exploitants agricoles dans leur développement.
[40] Arvalis Institut du Végétal : institut du végétal est un institut technique agricole français membre de l'ACTA, réalisant de la recherche appliquée agricole
[41] CGA de Lorraine : Centre Des Groupements Des Agrobiologistes de Lorraine regroupe des Syndicats professionnels et œuvre pour le développement de la bio en Lorraine
[42] INRA : l'Institut national de la recherche agronomique était un organisme français de recherche en agronomie existant de 1946 à 2019. L'institut fusionne le 1er janvier 2020 avec l'IRSTEA pour former l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

Comparatif des systèmes de culture	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
	Labour	SDSC	SDSC/Labour	TCS	SDSC	SDSC/TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
Engrais N	82,0 €	82,0 €	100,0	79,0 €	82,0 €	103,8		32,0 €	32,0 €	15,0 €	
Engrais PK	13,0 €	15,0 €	115,4	13,0 €	15,0 €	115,4		20,0 €			
Total charge Intrants	219,0 €	245,0 €	111,9	243,0 €	245,0 €	100,8	85,0 €	194,0 €	32,0 €	15,0 €	0,0 €

Tableau 2 *Charges de mécanisation*

Comparatif des systèmes de culture	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
	Labour	SDSC	SDSC/Labour	TCS	SDSC	SDSC/TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
2 - Charges mécanisation	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)
Préparation de sol	72,0 €	2,0 €	2,8	49,0 €	2,0 €	4,1	2,0 €	49,9 €			
Semis	40,0 €	66,0 €	165,0	49,0 €	66,0 €	134,7	66,0 €	36,5 €			
Binage							30,0 €				
Fumure organique							35,0 €				
Traitement phyto	29,0 €	35,0 €	120,7	36,0 €	35,0 €	97,2		12,6 €			
Fertilisation	21,0 €	20,5 €	97,6	20,0 €	20,5 €	102,5	15,0 €	9,8 €	4,9 €	4,9 €	
Récolte/Entretien	74,0 €	74,0 €	100,0	77,0 €	74,0 €	96,1	74,0 €	150,7 €	226,0 €	150,7 €	81,6 €
Total charge mécanisation	236,0	197,5	83,7	231,0	197,5	85,5	222	259,5	230,9	155,6	82

Tableau 3 *Produit (toutes cultures confondues)*

Comparatif des systèmes de culture	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
	Labour	SDSC	SDSC/Labour	TCS	SDSC	SDSC/TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
3 - Produit	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(/ha)	(/ha)	(/ha)	(/ha)
Rendement (indice 100)	100,0	97,0	97,0	100,0	96,8	96,8	97				
Rendement brut (qx/ha) (moy. 4 cultures)	59,0	55,6	94,2	64,8	62,4	96,3	35	55,0	75,0	40,0	
Produit (indice 100)	100,0	93,1	93,1	100,0	97,2	97,2	100				
Produit brut (€/ha) (moy. 4 cultures)	1 353,0 €	1 260,0 €	93,1	1 227,7 €	1 193,4 €	97,2	1 003,0 €	550,0	750,0	400,0	
Total produit	1353,0	1260,0	93,1	1227,7	1193,4	97,2	1 003	605,0	825,0	440,0	0

Tableau 4 *Marges*

Comparatif des systèmes de culture	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
	Labour	SDSC	SDSC/Labour	TCS	SDSC	SDSC/TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
4 - Marges	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)
Marge Brute (Produit-Intrants)	1 134,0 €	1 015,0 €	89,5	984,7 €	948,4 €	96,3	918,0 €	411,0 €	793,0 €	425,0 €	0,0 €
Charge de mécanisation	236,0 €	197,5 €	83,7	231,0 €	197,5 €	85,5	222,0 €	259,5 €	230,9 €	155,6 €	81,6 €
Marge nette (hors fuel et M.O.)	898,0 €	817,5 €	91,0	753,7 €	750,9 €	99,6	696,0 €	151,5 €	562,1 €	269,4 €	-81,6 €

Comparatif des systèmes de culture	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
	Labour	SDSC	SDSC/Labour	TCS	SDSC	SDSC/TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
Fuel (l/ha)	65	40	62	55	42	76	35	112,0	104,0	104,0	10
Main d'œuvre (min/ha)	235	150	64	191	148	77	280	389,0	366,0	366,0	40
Marge nette	**806,1 €**	**960,5 €**	**119,2**	**677,2 €**	**692,1 €**	**102,2**	**620,4 €**	**-4,2 €**	**416,7 €**	**124,0 €**	**-96,4 €**

Incidences économiques des mesures environnementales

Tableau 5 Incidence financière des mesures environnementales par unité de surface

	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
1 - Incidence financière filière	Labour	SDSC	SDSC /Labour	TCS	SDSC	SDSC /TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)
Total charge	455 €	443 €	97,3	474 €	443 €	93,4	307 €	454 €	263 €	171 €	82 €
Fuel	52 €	32 €	61,5	44 €	34 €	76,4	28 €	90 €	83 €	83 €	8 €
Total produit	1 353 €	1 260 €	93,1	1 228 €	1 193 €	97,2	1 003 €	550 €	750 €	400 €	0 €
20 % CA (Charge + Fuel + Produit)	**372 €**	**347 €**	**93,3**	**349 €**	**334 €**	**95,6**	**268 €**	**219 €**	**219 €**	**131 €**	**18 €**
2 - Incidence Exploitation	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)
MO	40 €	26 €	63,8	32 €	25 €	77,5	48 €	66 €	62 €	62 €	7 €

	Systèmes de culture (Colza/Blé/Orge h/Orge P)							Mise en herbe			Jachère
	Labour	SDSC	SDSC /Labour	TCS	SDSC	SDSC /TCS	BIO	Implantation	Exploitation	Exploitation (extensive)	Entretien
Marge nette	806 €	961 €	119,2	677 €	692 €	102,2	620 €	-4 €	417 €	124 €	-96 €
MO. + Marge Nette	**846 €**	**986 €**	**116,6**	**710 €**	**717 €**	**101,1**	**668 €**	**62 €**	**479 €**	**186 €**	**-90 €**
3 - Incidence financière totale	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)
Filière	372 €	347 €	93,3	349 €	334 €	95,6	268 €	219 €	219 €	131 €	18 €
Exploitation	846 €	986 €	116,6	710 €	717 €	101,1	668 €	62 €	479 €	186 €	-90 €
Total	**1 218 €**	**1 333 €**	**109,4**	**1 059 €**	**1 051 €**	**99,3**	**936 €**	**281 €**	**698 €**	**317 €**	**-72 €**

Coûts des mesures environnementales par site

Catalogue des mesures retenues :

- MC-P1 : recréation de prairies et/ou pelouses (à partir de terres arables ou de friches post-culturales)
- MC-P2 : restauration de prairies permanentes naturelles diversifiées
- MC-P3 : restauration de pelouses calcicoles dégradées
- MC-P4 : maintien à très long terme et gestion conservatoire de prairies permanentes
- MC-C1 : passage en agriculture biologique pour les grandes cultures conventionnelles
- MC-C2 : passage en agriculture sans labour (agriculture de conservation) avec couvert obligatoire diversifié. Passage en agriculture sans labour (agriculture de conservation) avec couvert obligatoire diversifié
- MC-C3 : création de jachères longue durée (5 ans) d'une prairie (3 ans) avec une gestion extensive
- MC-S1 : création ou restauration de haies pluristratifiées (> 2 m de largeur)
- MC-S2 : mise en place de bandes enherbées permanente en lisières ou en pied de haies (> 5 m de largeur)

Tableau 6 *Plus-value économique annuelle des mesures sur des surfaces agricoles non exploitées*

Incidence économique des mesures environnementales		État initial	Surface Total (ha)	MCP1	MCP2	MCP3	MCC1	MCC2	MCC3	MCS1	MCS2	Coût annuel
Abbaye de l'étanche	P3/C5	Non cultivé	52,2	52,2								
Abbaye de l'étanche	C6	Non cultivé	2,9			2,9						
Surface totale friche/Prairie (ha)				52,2		2,9						
Gain économique de la mesure (€/ha/an)				307 €		0						
Coût annuel des mesures Prairie/Friche				16 025 €		0						16 025 €

Tableau 7 *Moins-value économique annuelle des mesures sur des surfaces de prairie*

Incidence économique des mesures environnementales		État initial	Surface Total (ha)	MCP1	MCP2	MCP4	MCC1	MCC2	MCC3	MCS1	MCS2	Coût annuel
Morley-Couvertpuis	P2	Praire	14,2		7,2	7,0						
Surface totale prairie (ha)					7,2	7,0						
Perte économique de la mesure (€/ha/an)					0 €	-286 €						
Coût annuel des mesures sur prairie					0 €	-2 005 €						-2 005 €

Tableau 8 *Moins-value économique annuelle des mesures sur des surfaces de culture*

Incidence économique des mesures environnementales		État initial	Surface Total (ha)	MCP1	MCP2	MCP4	MCC1	MCC2	MCC3	MCS1	MCS2	Coût annuel
Gondrecourt-le-Château	C1	Culture	13,85					9,0	4,4		0,45	
Ruère	P1	Culture	0,5							0,25	0,25	
Morley-Couvertpuis	P2	Culture	5,9	5,9								
Bertheléville/Maldite	C2	Culture	8,3					6,2	2,0	0,09		
Bertheléville	C3+	Culture	36,45				35,0		1,2		0,25	
Thonnance les Joinvilles	C4	Culture	22,2	6,2				15,8		0,15	0,05	
Horville en Ornois	C6	Culture	3,9					3,9				
Cirfontaines-en-Ornois	C 7	Culture	5,9	2,1				3,7			0,07	
Surface totale culture (ha)				14,2			35,0	38,6	7,5	0,5	1,1	
Perte économique de la mesure (€/ha/an)				-625 €			-282 €	-50 €	-1 150 €	-770 €	-770 €	
Coût annuel des mesures sur culture				-8 875 €			- 9 878 €	-1 930 €	8 671 €	-373 €	-826 €	-30 554 €

Annexe 4 Rétablissements de la liaison intersites

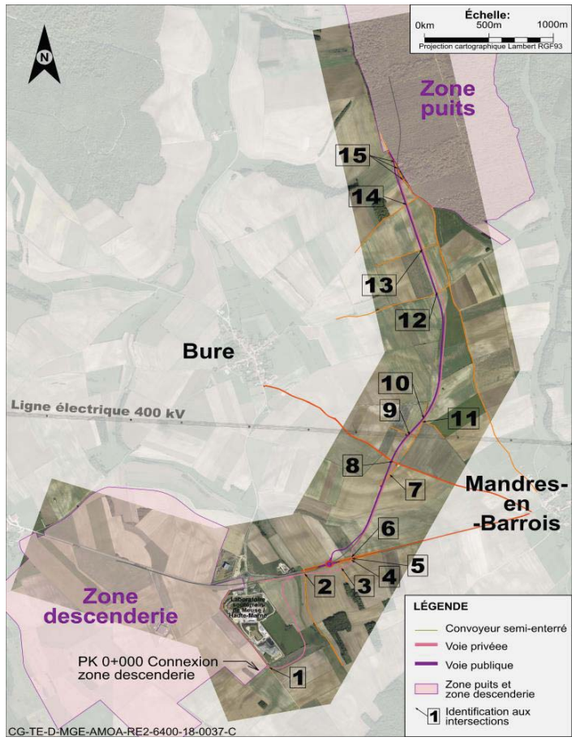
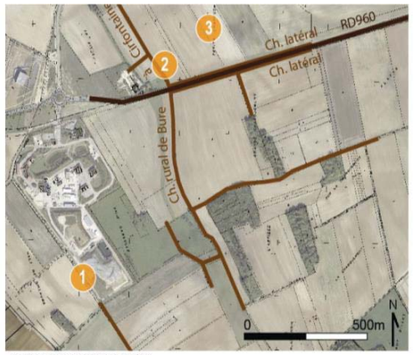


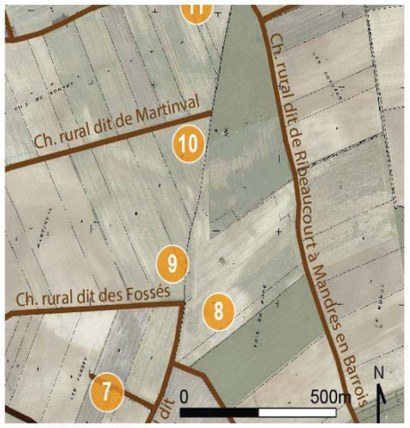
Figure 1 *Localisation des rétablissements des voies interceptées par la liaison intersites*

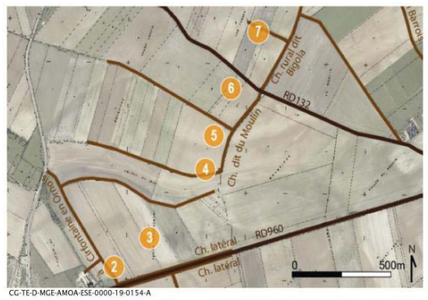
Tableau 1 *Les voies interceptées par la liaison intersites et leurs rétablissements*

N°	Nom	Commune	Route	Mode de rétablissement
1	Chemin de la voie Gasselle	Bure	Privée	Non rétabli (usage inexistant)
			Publique	Non concerné
2	Chemin dit de Bure à Cirfontaines-en-Ornois	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Non concerné
3	Chemin dit de la grande Charquemont	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Non concerné
4	Chemin latéral sud	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
5	Route Départementale 960	Bure	Privée	PI
			Publique	Carrefour giratoire
6	Chemin latéral Nord	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
7	Chemin dit du Moulin	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
8	Route Départementale 132	Bure	Privée	PI
			Publique	PI
9	Chemin dit des Fosses	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Carrefour plan
10	Chemin dit Bigola	Mandres-en-Barrois	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
11	Chemin de remembrement de Bure	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
12	Chemin dit de Bure à Bonnet	Bure	Privée	PI
			Publique	Carrefour plan
13	Chemin dit des Herbués	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Rabattement
14	Chemin dit de la Voie Saint-Jean	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Carrefour plan
15	Chemin dit de Ribeaucourt à Mandres-en-Barrois	Bure	Privée	Rabattement
			Publique	Carrefour plan

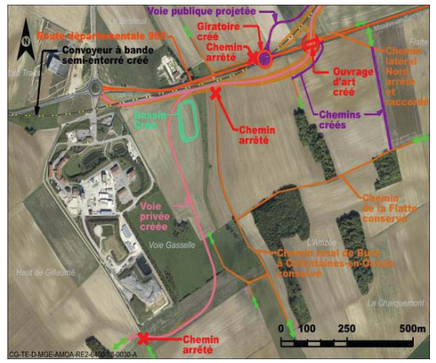
État existant

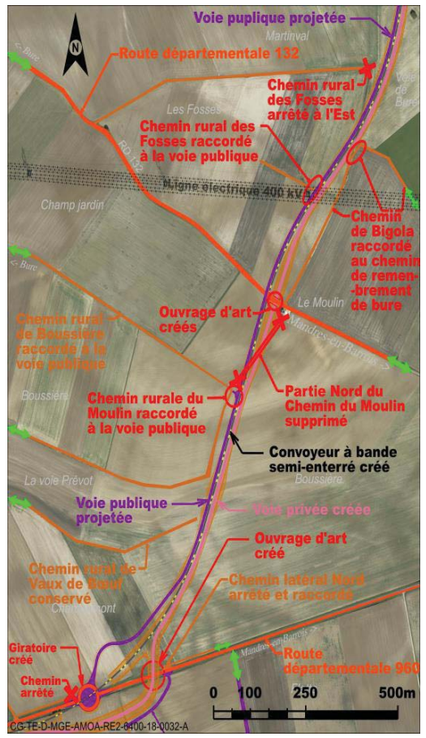




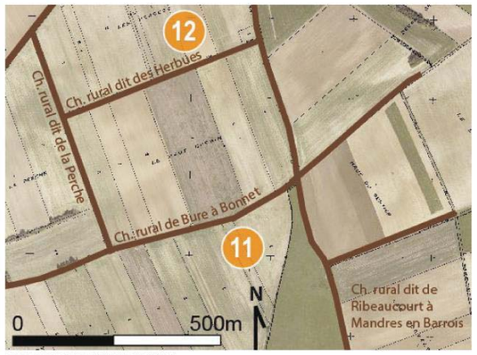


Après aménagement



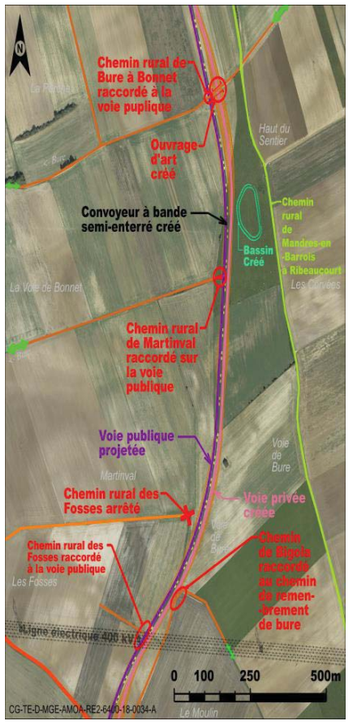


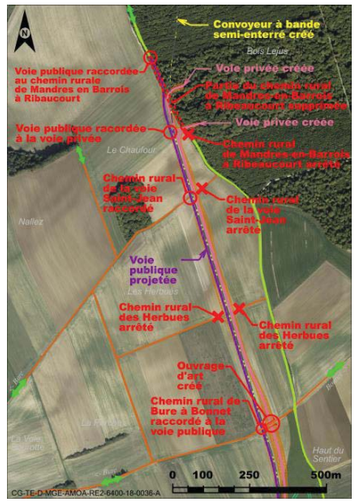
État existant





Après aménagement





Chemins ruraux interrompus

Itinéraires de déviation proposés

Figure 2 *Illustration des rétablissements de la liaison intersites*

Annexe 5 Rétablissements de l'installation terminale embranchée

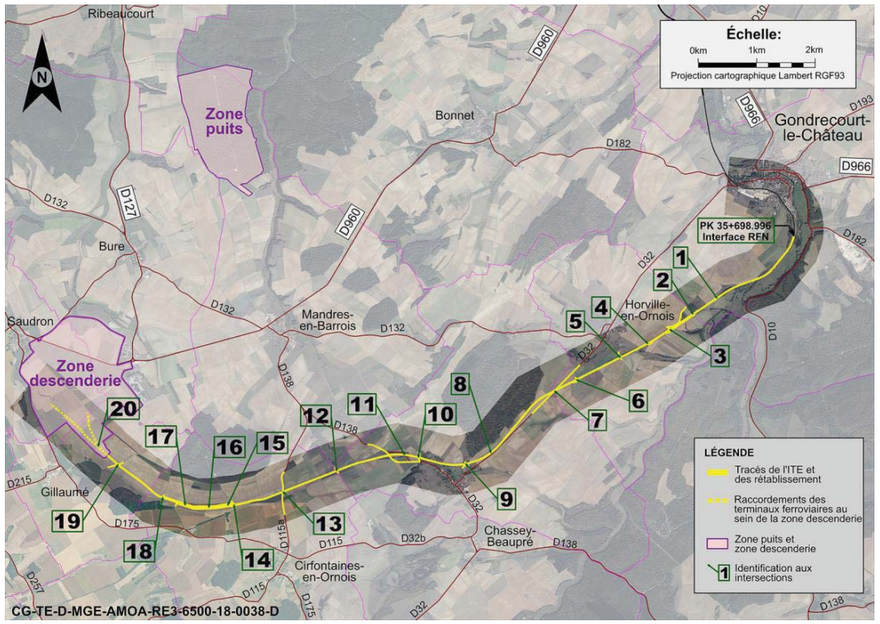


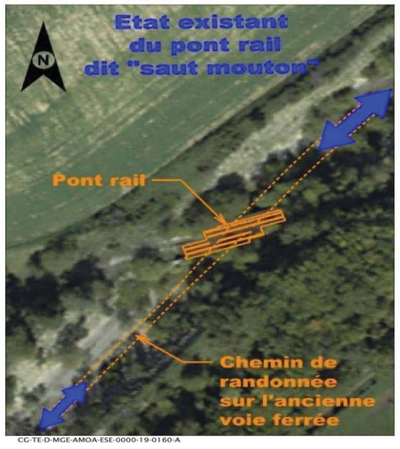
Figure 1 *Rétablissements des voies interceptées par l'installation terminale embranchée*

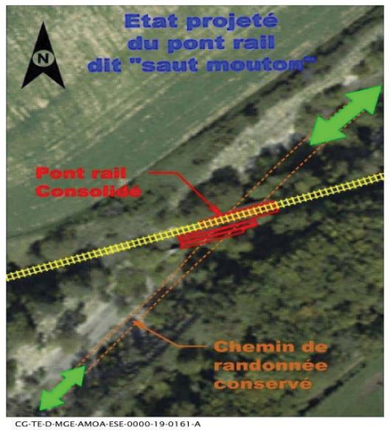
Tableau 1 *Les voies interceptées par l'installation terminale embranchée*

N°	Nom	Commune	Mode de rétablissement
1	**Chemin de la vallée de Fraumont**	Gondrecourt-le-Château (dép.55)	PN
2	**Chemin de Fromont – Tillancourt**	Gondrecourt-le-Château/Horville-en-Ornois (dép.55)	Rabattement
3	**Chemin de la Crémont**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PRO
4	**Chemin du Maraud**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PN
5	**Chemin de Papon**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PRA
6	**Chemin de Grévines**	Horville-en-Ornois (dép.55)	PN
7	**Route Départementale 32**	Horville-en-Ornois/Luméville-en-Ornois (dép.55)	PRO
8	**Chemin dénommé chemin n° 9 latéral du Chemin de Fer**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	Rabattement
9	**Chemin dénommé chemin n° 5 de Luméville-en-Ornois à Tourailles-aux-Bois**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	PRO

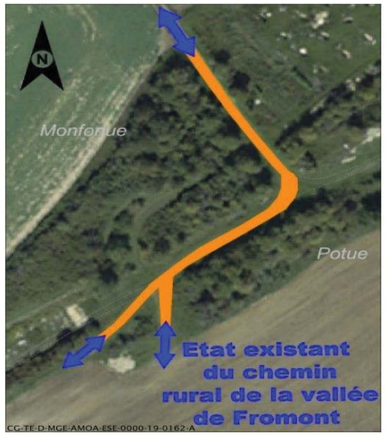
N°	Nom	Commune	Mode de rétablissement
10	**Chemin de Vouez**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	PN
11	**Route Départementale 138**	Luméville-en-Ornois (Gondrecourt-le-Château) (dép.55)	PRO
12	**Chemin d'exploitation Le Closet**	Luméville-en-Ornois (55)/Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PN
13	**Route Départementale 115a/138c**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PRO
14	**Chemin de la Courbière**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PN
15	**Chemin de la Saunière**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	Rabattement
16	**Chemin de la Côte de Glandenoix**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	Rabattement
17	**Chemin du Pierrier**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	Rabattement
18	**Chemin des Anges**	Cirfontaines-en-Ornois (dép.52)	PN
19	**Chemin de Mandres**	Gillaumé (dép.52)	PRA
20	**Chemin de la Chalêtre**	Gillaumé (dép.52)	Rabattement

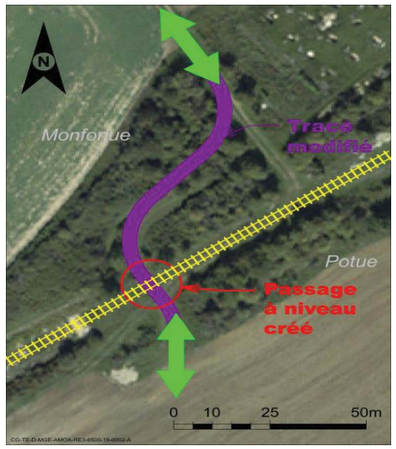
État existant	Après aménagement

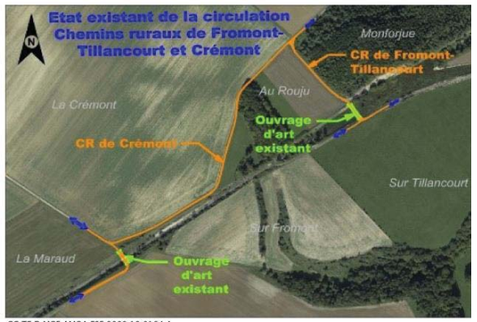


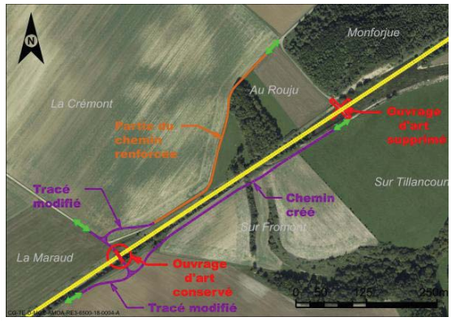


État existant	Après aménagement

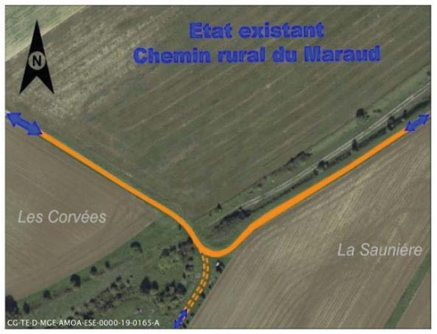


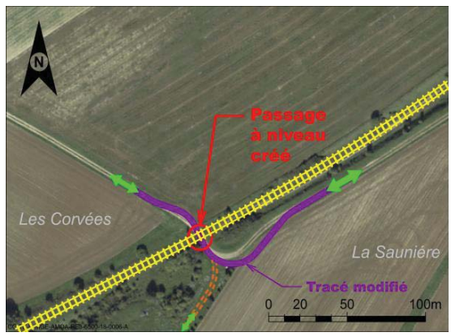




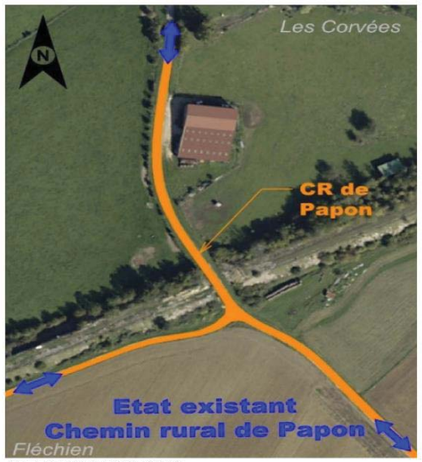


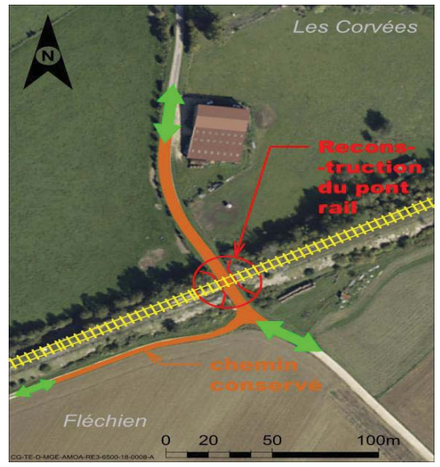
CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0164-A

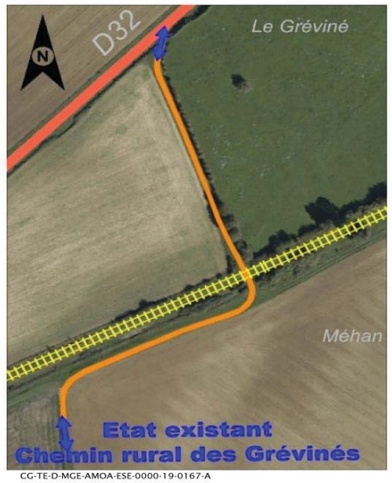


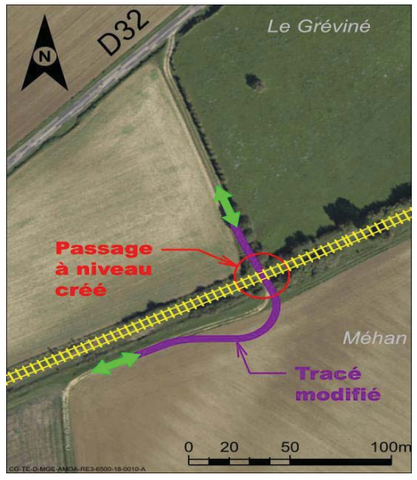


État existant	Après aménagement

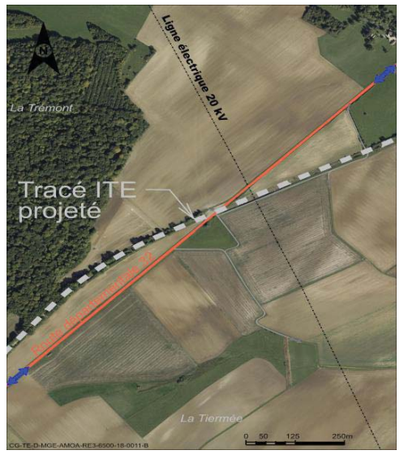


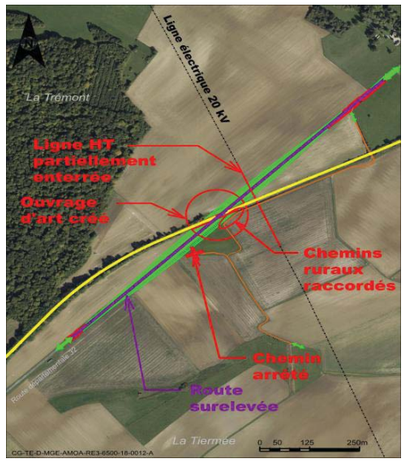


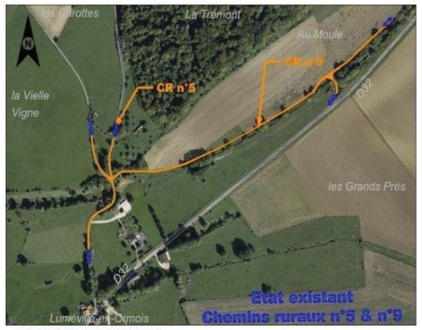




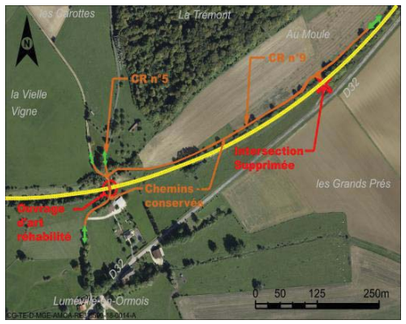
État existant	Après aménagement





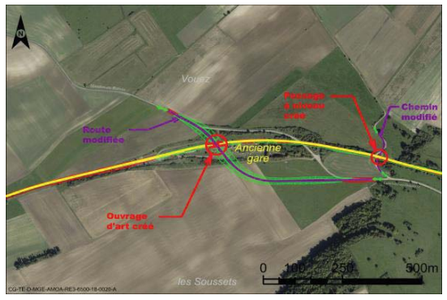


CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0169-A

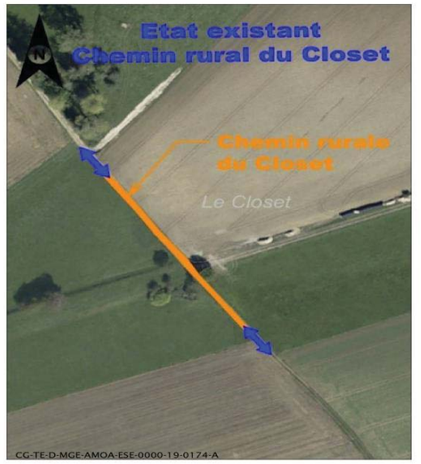




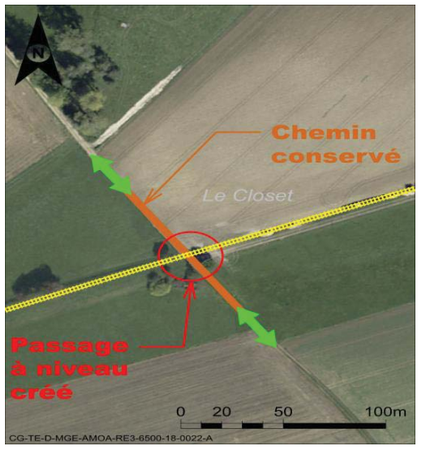
CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0170-A

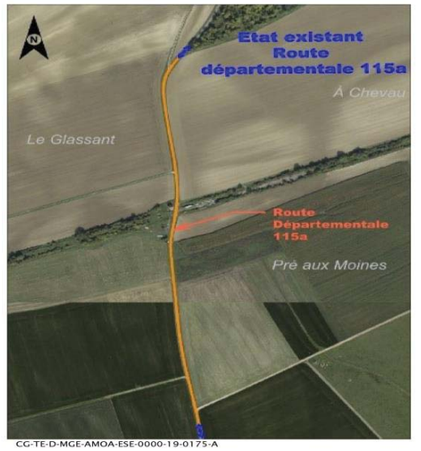


État existant	Après aménagement

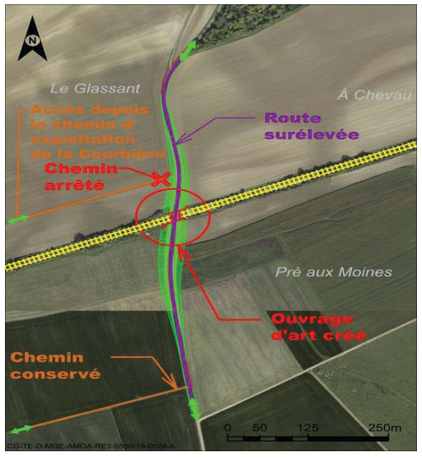


CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0174-A



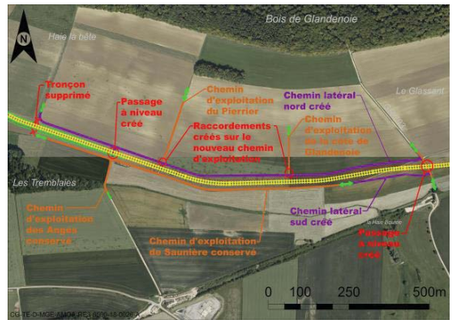


CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0175-A





CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0176-A



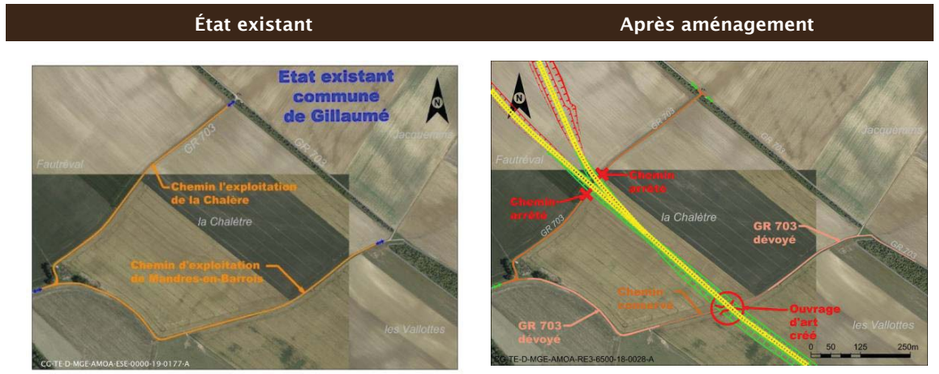


Figure 2 *Illustration des rétablissements de de l'Installation terminale embranchée*

Annexe 6 Les 11 régimes notifiés encadrant des systèmes d'aides

1. **Aides aux investissements liés à la production primaire (n° SA 39618 puis n° SA 50388) :**
   Il pourrait s'agir de la prise en compte des effets sur les exploitations touchées ou non par l'éviction foncière, par l'incitation à engager de nouveaux investissements pour maintenir ou reconvertir une activité. La possibilité d'investissements collectifs est prévue par le régime.
2. **Promotion des produits agricoles (n° SA 39677) :**
   Soutien à la relance de la notoriété d'une production, création de circuits courts ; il s'agit de donner une nouvelle dynamique à la production impactée par le projet.
3. **Transformation et commercialisation de produits agricoles (n° SA 40417 puis n° SA 49435) :**
   L'objectif serait alors d'augmenter localement la plus-value des productions affectées par un projet foncier très consommateur d'espace agricole.
4. **Conseil pour les PME dans le secteur agricole (n° SA 40833) :**
   Le conseil peut notamment couvrir les champs de la compétitivité et de l'innovation, la viabilité économique et environnementale et le cas échéant les normes de sécurité au travail, soit tout un éventail de thématiques qui peuvent renforcer l'ancrage local des exploitations.
5. **Recherche et développement dans les secteurs agricoles (et forestier) (n° SA 40957) :**
   Il s'agit d'aide allouée à un organisme de recherche. Le financement de la recherche de nouveaux débouchés peut intéresser une filière spécialisée, affectée par une réduction foncière importante qui remet en cause sa viabilité.
6. **Transfert de connaissance et actions d'information dans le secteur agricole (n° SA 40979) :**
   L'aide peut notamment couvrir la formation professionnelle et l'acquisition de compétences, des projets de démonstration liés à des investissements ou des visites d'exploitations. De telles initiatives peuvent contribuer à augmenter localement la plus-value des productions affectées par un projet.
7. **Systèmes de qualité (n° SA 41652) :**
   La montée en gamme peut être une réponse à la perte de la quantité produite en raison d'une réduction foncière ; le dispositif peut couvrir entre autres les études de marché, la conception et l'esthétique des produits, l'élaboration du dossier de reconnaissance.
8. **Aides à finalité régionale (n° SA 39252) :**
   Les bénéficiaires sont des PME, dans le cadre d'un changement fondamental dans le processus de production ou d'une diversification. L'incitation à la diversification d'une entreprise existante peut être une solution pour la valorisation, dans de courts délais, d'une production primaire locale dont on cherche à compenser la réduction.
9. **Aides à la formation en entreprise, hors secteur agricole (n° SA 40207) :**
   Elles peuvent accompagner l'adaptation à l'emploi dans le cadre d'un projet bénéficiant d'une aide régionale telle que prévue au point précédent.
10. **Infrastructures locales (n° SA 40206) :**
    Il s'agit de l'amélioration de l'environnement des entreprises et des consommateurs. Tout type de bénéficiaire est possible. Les réseaux d'échanges d'informations semblent a priori le mieux répondre aux circonstances. Les réseaux ainsi créés doivent être mis à disposition sur une base ouverte et non discriminatoire. Si le lien avec les mesures de compensation classiquement évoquées n'est pas immédiat, certaines situations géographiques particulières, par exemple la montagne, pourraient être des lieux d'expérimentation de ce régime.
11. **Recherche, développement innovation hors secteurs agricole et forestier (n° SA 40391) :**
    cf. point 5.

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1.1-1	Représentation illustrative du centre de stockage Cigéo	10
Figure 1.1-2	Délimitation du territoire agricole concerné	12
Figure 1.1-3	Carte de répartition cantonale de l'occupation des sols	13
Figure 1.1-1	Filières de gestion développées pour les différentes catégories de déchets radioactifs	32
Figure 1.2-1	Localisation du projet de centre de stockage Cigéo	34
Figure 1.2-2	Estimation des volumes de déchets HA et MA-VL à stocker dans Cigéo	36
Figure 1.2-3	Projet global Cigéo et périmètre de son étude d'impact	37
Figure 1.2-4	Implantation des différentes opérations du projet global Cigéo	38
Figure 1.3-1	Représentation illustrative du centre de stockage Cigéo	41
Figure 1.3-2	Localisation des installations de surface du centre de stockage Cigéo	41
Figure 1.3-3	Organisation générale de la zone descenderie	42
Figure 1.3-4	Exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone descenderie	43
Figure 1.3-5	Organisation générale de la zone puits	44
Figure 1.3-6	Exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone puits	44
Figure 1.3-7	Organisation générale des ouvrages souterrains à terminaison	46
Figure 1.3-8	Exemple de convoyeur à bande en caisson béton	48
Figure 1.3-9	Localisation de la liaison intersites	48
Figure 1.3-10	Localisation de l'installation ferroviaire terminale embranchée	49
Figure 1.3-11	Rétablissements des voiries interrompues par l'installation terminale embranchée	50
Figure 1.3-12	Vue aérienne de la plateforme logistique de Gondrecourt-le -Château	51
Figure 1.3-13	Localisation du raccordement électrique du centre de stockage Cigéo sur le réseau 400 kV	52
Figure 1.3-14	Localisation de l'opération d'adduction d'eau	54
Figure 1.3-15	Réseau ferroviaire à proximité du centre de stockage Cigéo	55
Figure 1.3-16	Localisation de la ligne ferroviaire 027000	56
Figure 1.3-17	Opération de déviation de la route départementale D60/960 – options étudiées en vue de la concertation	57
Figure 1.3-18	Illustration de l'acheminement des colis de déchets radioactifs vers Cigéo	58
Figure 1.4-1	Phases temporelles successives du centre de stockage Cigéo	60
Figure 1.4-2	Illustration du développement progressif des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo	61
Figure 1.5-1	Localisation des installations du centre de stockage Cigéo	64
Figure 1.5-2	Carte d'occupation des sols du centre de stockage Cigéo	66
Figure 1.5-3	Localisation et profondeur de la zone de tréfonds (ZIOS)	69
Figure 1.6-1	Occupation des sols de l'état initial du projet global Cigéo	73
Figure 1.6-2	Délimitation du territoire agricole concerné	74
Figure 2.1-1	Aires d'étude agricole du projet global Cigéo	77
Figure 2.1-2	Aires d'étude rapprochées du centre de stockage Cigéo	79
Figure 2.2-1	Carte communale des Orientations technico-économiques dominantes en 2010	83
Figure 2.2-2	Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Grand-Est Vins et spiritueux en 2018	86

Figure 2.2-3	Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Gand-Est Fruits, légume et produits sucrés	87
Figure 2.2-4	Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Grand-Est Agriculture biologique en 2017	88
Figure 2.2-5	Les comptes de l'agriculture (Source Atlas 2016)	89
Figure 2.2-6	Carte de l'agriculture en Meuse	91
Figure 2.2-7	Cartes de l'agriculture en Haute-Marne	92
Figure 2.2-8	Localisation du centre de stockage Cigéo au cœur des régions agricoles	93
Figure 2.3-1	Carte de répartition cantonale de l'occupation des sols	95
Figure 2.3-2	Part des terres labourables (TL) de la Surface Agricole Utile (SAU) à l'échelle cantonale	96
Figure 2.3-3	Évolution de la part des prairies permanentes (PP) par rapport à la surface agricole utile (SAU)	97
Figure 2.3-4	Carte cantonale du nombre d'exploitations et de la Surface Agricole Utile (SAU) par exploitation	98
Figure 2.3-5	Évolution de la part des exploitations en système de grandes cultures	102
Figure 2.3-6	Assolement moyen 2011-2015 des terres labourables de l'aire d'étude éloignée des 4 cantons	103
Figure 2.3-7	Évolution annuelle des surfaces départementales (52 et 55) des principales cultures de 2000 à 2018	104
Figure 2.3-8	Évolution annuelle des rendements départementaux de 2000 à 2018	105
Figure 2.3-9	Productions fromagères sous SIQO sur les aires d'étude agricole du projet global Cigéo	110
Figure 2.3-10	Aire géographique de l'AOC Brie de Meaux (France)	111
Figure 2.3-11	Évolution de la production Brie de Meaux (France)	111
Figure 2.3-12	Répartition des ventes de Brie de Meaux en 2018 (6 638 tonnes)	112
Figure 2.3-13	Aire géographique de L'IGP Emmental français Est-Central (Fromages)	113
Figure 2.3-14	Vins et eaux de vie sous SIQO sur les aires d'étude agricole du projet global Cigéo	114
Figure 2.3-15	Productions agricoles de volailles sous SIQO	115
Figure 2.3-16	Part des exploitations avec un signe de qualité	116
Figure 2.3-17	Diversification des exploitations agricoles de Meuse et de Haute-Marne	118
Figure 2.3-18	Main d'œuvre dédiée à la diversification agricole	119
Figure 2.3-19	Carte de localisation des entreprises d'agro-fournitures et d'agro-machinisme	122
Figure 2.3-20	Carte de localisation des entreprises de fabrication d'aliments et de commerces de gros animaux	123
Figure 2.3-21	Carte de localisation des industries laitières	125
Figure 2.4-1	Répartition de l'occupation des sols sur les aires d'étude rapprochées (G3 et G7) (2014)	130
Figure 2.4-2	Carte pédologique de la zone d'intervention potentielle (Extrait OPE 2018)	131
Figure 2.4-3	Assolement moyen 2011-2015 des terres labourables	133
Figure 2.4-4	Répartition de l'assolement 2014 sur les aires d'étude agricole rapprochée	134
Figure 2.4-5	Cheptel bovin selon les types d'animaux	135
Figure 2.4-6	Zonage des espaces protégés sur l'aire d'étude agricole rapprochée	140
Figure 2.4-7	Zones vulnérables de la directive Nitrates sur la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo	141
Figure 2.4-8	Périmètres de protection de captage sur les aires d'étude agricole rapprochées du centre de stockage Cigéo	143
Figure 2.5-1	Occupation des sols agricoles sur l'aire d'étude de ligne électrique 400 kV	144
Figure 2.5-2	Occupation des sols agricoles sur l'aire d'étude de la ligne ferroviaire L 027000 (déclaration PAC 2018-ASP)	148
Figure 3.2-1	Principales opérations d'acquisitions de réserves foncières agricoles	163

Figure 3.2-2 Évolution du prix moyen des terres et prairies libres et louées en France et en région Grand-Est 164
Figure 3.2-3 Évolution des prix moyens départementaux des terres et prairies libres en région Grand-Est 164
Figure 3.2-4 Évolution du prix des terres et prairies libres du Barrois et du nord-est Haut-Marnais 165
Figure 3.6-1 Schéma d'évaluation économique des enjeux agricoles 174
Figure 3.6-2 Illustration de la perte économique agricole 174
Figure 3.6-3 Schéma de construction des indicateurs de résultats 175
Figure 3.6-4 Temps de travail par hectare de culture de vente 178
Figure 3.6-5 Temps de travail pour 1 000 L de lait produit 178
Figure 3.6-6 Temps de travail par vache allaitante 179
Figure 3.6-7 Indices du prix du litre de lait 185
Figure 3.6-8 Illustrations de l'écothèque 186
Figure 3.6-9 Localisation du centre de stockage Cigéo sur les aires d'appellation 187
Figure 4.1-1 Carte de synthèse des contraintes pour implanter les installations de surface (2009) 193
Figure 4.1-2 Proposition de scénarios d'implantation des installations de surface de la zone puits 194
Figure 4.1-3 Illustration d'un profil type de la liaison intersites 196
Figure 4.1-4 Localisation de la liaison intersites 196
Figure 4.1-5 Extrait du SIDT présenté au débat public de Cigéo de 2013 197
Figure 4.1-6 Localisation de l'installation ferroviaire terminale embranchée 198
Figure 4.1-7 Surface par exploitation sous emprise de la zone d'intervention potentielle avant échange 201
Figure 4.1-8 Parcellaire des exploitations sous emprise de la zone d'intervention potentielle après échange 204
Figure 4.1-9 Exemple de bande transporteuse semi-enterrée 205
Figure 4.2-1 Rétablissements des voies interceptées par la liaison intersites 210
Figure 4.2-2 Exemples et Illustrations des rétablissements de la liaison intersites à proximité de la zone descenderie 210
Figure 4.2-3 Rétablissements des voies interceptées par l'installation terminale embranchée 212
Figure 4.2-4 Illustrations de rétablissements étudiés 212
Figure 4.2-5 Exemple et Illustrations d'un rétablissement de l'Installation terminale embranchée (pont de Papon) 213
Figure 4.2-6 Niveaux de radioactivité moyens des principaux éléments radioactifs artificiels présents dans les denrées produites en France (source IRSN, 2018). 218
Figure 4.2-7 Échantillons analysés 219

Tableaux

Tableau 1.1-1 Surfaces agricoles concernées par le projet global Cigéo 11
Tableau 1.1-2 Emprises agricoles du projet global Cigéo 23
Tableau 1.1-3 Estimation annuelle de la perte financière pour les activités agricoles du territoire 23
Tableau 1.1-4 Estimation la perte financière globale 24
Tableau 1.5-1 Répartition communale des emprises de la zone d'intervention potentielle de surface 65
Tableau 1.5-2 Occupation des sols de la zone d'intervention potentielle 65
Tableau 1.5-3 Répartition de l'occupation des terres agricoles 66
Tableau 1.5-4 Répartition départementale des surfaces agricoles et forestières 67
Tableau 1.5-5 Part communale des surfaces agricoles de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo 67

Tableau 1.5-6 Répartition communale des emprises de la zone d'implantation des ouvrages souterrains 68
Tableau 1.5-7 Éléments d'appréciation du niveau d'incidence (grille indicative d'évaluation) 70
Tableau 1.5-8 Synthèse de la dette écologique des milieux agricoles 70
Tableau 1.5-9 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces prairiales 71
Tableau 1.5-10 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces des milieux cultivés 71
Tableau 1.6-1 Surfaces agricoles concernées par le projet global Cigéo 72
Tableau 2.1-1 Documents de statistiques agricoles et extractions de données 80
Tableau 2.1-2 Organismes et bases de données 81
Tableau 2.3-1 Proportion des surfaces agricoles en 2014 (AGRESTE) 95
Tableau 2.3-2 Part des terres labourables de la SAU (AGRESTE) 96
Tableau 2.3-3 Évolution du nombre d'exploitations (tous statuts) et de la Surface Agricole Utile par exploitation de 2000 à 2010 – Agreste 98
Tableau 2.3-4 Statut des exploitations agricoles professionnelles du territoire concerné 99
Tableau 2.3-5 Dimensionnement des exploitations du territoire concerné 99
Tableau 2.3-6 Répartition des actifs par exploitation agricole 100
Tableau 2.3-7 Âge du chef d'exploitation ou du premier coexploitant 101
Tableau 2.3-8 Orientations technicoéconomiques des exploitations (AGRESTE 2010) 101
Tableau 2.3-9 Système de grandes cultures (AGRESTE 2010) 102
Tableau 2.3-10 Assolement moyen des terres labourables (2011-2015) 103
Tableau 2.3-11 Variation moyenne des rendements à l'échelle nationale et départementale 104
Tableau 2.3-12 Taille des troupeaux en élevage bovins 105
Tableau 2.3-13 Évolution du cheptel bovin de 2000 à 2016 107
Tableau 2.3-14 Production laitière départementale (2010-2016-2018) 108
Tableau 2.3-15 Évolutions des autres cheptels (2000-2010) 108
Tableau 2.3-16 Productions sous SIQO à proximité du centre de stockage Cigéo 109
Tableau 2.3-17 Part de diversification des exploitations agricoles 117
Tableau 2.3-18 Coopératives d'Agro-fournitures et Agro-machinisme 120
Tableau 2.3-19 Établissements des deux coopératives sur l'aire d'étude éloignée 120
Tableau 2.3-20 Sociétés d'Agro-fournitures (SA) 120
Tableau 2.3-21 Société de commerce de fourrages (SARL) 121
Tableau 2.3-22 Sociétés d'Agro-machinisme 121
Tableau 2.3-23 Établissements d'agro-machinisme sur l'aire d'étude éloignée et à proximité 121
Tableau 2.3-24 Coopératives et société de la filière fabrique d'aliments et commerce de gros animaux 123
Tableau 2.3-25 Établissements de fabrique d'aliments et de commerce de gros animaux sur l'aire d'étude éloignée et à proximité 123
Tableau 2.3-26 Industrie laitière et fromagère en Meuse (Base SIRENE-INSEE 2017) 124
Tableau 2.3-27 Industrie laitière et fromagère en Haute-Marne (Base SIRENE-INSEE 2017) 124
Tableau 2.3-28 Établissements de filière laitière et fromagère sur l'aire d'étude éloignée et à proximité 125
Tableau 2.3-29 Industrie agro-alimentaire en Meuse et Haute-Marne 126
Tableau 2.3-30 Industrie agro-alimentaire sur les cantons de l'aire d'étude éloignée des 4 cantons 127
Tableau 2.3-31 Répartition et caractéristiques de la population active 128
Tableau 2.4-1 Description des territoires des aires d'étude rapprochées 129
Tableau 2.4-2 Répartition des sols agricoles par commune des aires d'étude rapprochées 130
Tableau 2.4-3 Répartition des sols agricoles des aires d'étude rapprochée 131
Tableau 2.4-4 Caractéristiques pédologiques des sols agricoles sur l'aire d'étude rapprochée 132

Tableau 2.4-5 Communes et producteurs laitiers dans le périmètre d'appellation AOP Brie de Meaux 135
Tableau 2.4-6 Communes et producteurs laitiers dans le périmètre de l'IGP Emmental Français 136
Tableau 2.4-7 Liste des ouvrages de la banque de données sur le sous-sol recensés pour un usage agricole indéfini (source Infoterre, octobre 2019) 137
Tableau 2.4-8 Caractéristiques des actifs agricoles sur les aires d'étude rapprochées G3 et G7 137
Tableau 2.4-9 Caractéristiques des emplois de la zone du projet global Cigéo 138
Tableau 2.4-10 Données agricoles communales (RGA 1988, 2000 et 2010) 139
Tableau 2.5-1 Situation agricole des pylônes de la ligne électrique 400 kV de Balignicourt (dép.10) à Houdreville (dép.54) 145
Tableau 2.5-2 Situation agricole des pylônes de la ligne 400 kV de Balignicourt (dép.10) à Houdreville (dép.54) 147
Tableau 2.5-3 Situation agricole du fuseau d'étude du dévoiement de la route départementale D60/960 : option SUD 150
Tableau 2.5-4 Situation agricole du fuseau d'étude du dévoiement de la route départementale D60/960 : option NORD 150
Tableau 2.5-5 Situation agricole du fuseau d'étude du dévoiement de la route départementale D60/960 : option PROXIMITE 150
Tableau 2.5-6 Situation agricole des sites de compensation environnementale des milieux prairiaux 152
Tableau 2.5-7 Situation agricole des sites de compensation environnementale des milieux cultivés 152
Tableau 2.6-1 Grille d'évaluation des enjeux agricoles du projet global Cigéo 155
Tableau 3.2-1 Principales opérations d'acquisition des réserves foncières 161
Tableau 3.2-2 Variation du prix de foncier agricole Meuse et Haute-Marne 165
Tableau 3.2-3 Emprises agricoles du centre de stockage Cigéo 167
Tableau 3.4-1 Projets dans l'aire éloignée 171
Tableau 3.5-1 Incidences du projet global Cigéo sur l'économie agricole du territoire 172
Tableau 3.6-1 Perte de rémunération du temps de travail 177
Tableau 3.6-2 Revenu disponible avec DPU/ha 179
Tableau 3.6-3 Postes comptables retenus 180
Tableau 3.6-4 Perte financière pour les filières amont et aval 181
Tableau 3.6-5 Perte financière induite par le changement de destination des surfaces agricoles 181
Tableau 3.6-6 Incidence financière annuelle des mesures environnementales 184
Tableau 3.6-7 Emprises foncières agricoles du projet Global Cigéo 188
Tableau 3.6-8 Estimation annuelle de la perte financière pour les activités agricoles du territoire 189
Tableau 4.1-1 Répartition des emprises agricoles sur la zone d'intervention potentielle 200
Tableau 4.1-2 Part de la SAU des exploitations sous emprise de la zone d'intervention potentielle 200
Tableau 4.1-3 Incidence parcellaire des échanges et des cessions du foncier agricole au sein de la zone d'intervention potentielle 202
Tableau 4.2-1 Gestion des réserves foncières agricoles (Andra + Safer) 207
Tableau 4.2-2 Les voies interceptées par la liaison intersites et leurs rétablissements 209
Tableau 4.2-3 Les voies interceptées par l'ITE 211
Tableau-4.2-4 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces prairiales 220
Tableau 4.2-5 Sites sélectionnés pour les mesures en faveur des espèces des milieux cultivés 220
Tableau 4.4-1 Synthèse des principales mesures d'évitement et de réduction 221
Tableau 5.1-1 11 régimes notifiés 224
Tableau 5.1-2 Emprises foncières agricoles du projet Global Cigéo 226
Tableau 5.1-3 Estimation du montant de compensation collective agricole pour le projet Global Cigéo 226

Tableau 5.3-1 Définition des principaux critères d'éligibilité des projets collectifs de compensation économique agricole (Cigéo) 229

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Décret n° 2010-402 du 23 avril 2010 autorisant Electricité de France à créer, sur le territoire de la commune de Saint-Vulbas (département de l'Ain), une installation nucléaire de base dénommée Installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés (ICEDA) (2010). Journal Officiel de la République Française, N°0097, pp.7561.

2 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Version consolidée au 21 octobre 2019 (2012).

3 Décret n° 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (2017). Journal Officiel de la République Française, N°48.

4 Arrêté du 25 juillet 1997 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2910 (Combustion) (2016).

5 Délibération définitive du Conseil Départemental de la Meuse du 17 décembre 2015 : Dessertes de CIGEO: priorités du département de la Meuse. Département de la Meuse (2015). Recueil des actes administratifs : conseil départemental du jeudi 17 décembre 2015, N°28, pp.1591-2.

6 Loi n°2006-686 du 13 juin 2006 modifiée relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Version consolidée au 12 juillet 2014 (2006).

7 Loi n°2006-739 du 28 Juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (2006). Journal Officiel de la République Française, N°93, pp.9721.

8 Décret n° 2016-1190 du 31 août 2016 relatif à l'étude préalable et aux mesures de compensation prévues à l'article L. 112-1-3 du code rural et de la pêche maritime.

Documents de référence et des statistiques sources de l'analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné:

1. Mémento de l'essentiel (Bas-Rhin, Haut-Rhin Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges) Région Grand-Est - Janvier 2020 – Edition 2019. Agreste – Statistique Agricole, p 24.
2. Mémento de l'essentiel (Bas-Rhin, Haut-Rhin Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges) Région Grand-Est - Décembre 2018 – Edition 2018. Agreste – Statistique Agricole, p 24.
3. Mémento de l'emploi - Région Grand-Est - février 2019 – Edition 2018. Agreste Grand-Est – Statistique Agricole p 28.
4. Panorama agricole agroalimentaire et forestier de la région Grand-Est 2017 – Edition juin 2018. Agreste Grand-Est, p 94.
5. Atlas régional Grand-Est. Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt; Agreste Grand-Est (2017).
6. Synthèse départementale de la Meuse (55) Juin 2017. Agreste Grand-Est, et DRAAF Grand-Est, p 3.
7. Synthèse départementale de la Haute-Marne (52) Juin 2017. Agreste Grand-Est, et DRAAF Grand-Est, p 3
8. Fiche territoire du département de la Meuse – 2018. Agreste Grand-Est – SRISE, p 19.
9. Fiche territoire du département de la Haute-Marne – 2018. Agreste Grand-Est – SRISE, p 19.

10. Fiche territoire du canton de Gondrecourt-le-Château – 2018. Agreste Grand-Est – SRISE, p 20.
11. Fiche territoire du canton de Montiers-sur-Saulx – 2018. Agreste Grand-Est – SRISE, p 20.
12. Fiche territoire du canton de Poissons – 2018. Agreste Grand-Est – SRISE, p 20.
13. Fiche territoire du canton de Ligny-en-Barrois – 2018. Agreste Grand-Est – SRISE, p 20.
14. Agreste conjoncture – Info rapide – Lait avril 2018 – n° 2018-47, p 8.
15. L'économie laitière en chiffres – Edition 2019 – CNIEL Centre national Interprofessionnel de l'économie laitière, p 198.
16. Chiffres clés 2017 - Des produits sous signes de la qualité et de l'origine Produits laitiers AOP et IGP – CNAOL Conseil National des appellations d'origine laitières – INAO Institut national de l'origine et de la Qualité, p 12.
17. Méthanisation agricole et territoriale en région Grand-Est – Etat des lieux – juin 2018 – ACSE Air Climat Sol Energie – Chambre Régionale d'Agriculture Grand-Est, p 2.
18. Le prix des terres – Analyse des marchés ruraux 2018 – Safer-SSP-Terres d'Europe_Scafr

Liens internet aux bases de données et documents en ligne :

Atlas régional Grand-Est
http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/Atlas-2016-agricole-de-la-region

Mémento Grand-Est
http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R44Me2001.pdf

Mémento de l'emploi Grand-Est
http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R4419C01.pdf

Mémento SIQO Grand-Est
http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R4418C01-2.pdf

Synthèse départementale
http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/06_PresentationGE_Meuse55_28juin2017_cle41de8c.pdf

Fiches Territoires
http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/Les-departements-du-Grand-Est

Recensement Général Agricole
https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/disaron/%21searchurl/searchUiid/search.disar

L'activité laitière
http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Essentiel_lait_Edition_2019_cle0b1419.pdf

SIQO
https://www.inao.gouv.fr/

IGN
http://www.ign.fr/

ASP/PAC
https://www.asp-public.fr/

DGFip
https://portail.dgfip.finances.gouv.fr/portail/accueilIAM.pl

DRAAF Grand-Est
http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/

OSCOM

http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/l-occupation-du-territoire,351

CIVC

https://maisons-champagne.com/fr/filiere/organisation/vignerons-et-maisons-de-champagne/article/comite-champagne-civc

DATA

https://www.data.gouv.fr/fr/

MSA

https://lorraine.msa.fr/lfy

INSEE

https://www.insee.fr/fr/accueil

Agence BIO

https://www.agencebio.org/

ADEME

https://grand-est.ademe.fr/

RGA

https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/disaron/%21searchurl/searchUiid/search.disar

LEXIQUE

- **AB** : Agriculture biologique
- **Acoss :** Agence centrale des organismes de sécurité sociale
- **AGRESTE** : Est la marque des publications du Service de la statistique et de la prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, un service public de statistiques ministérielles
- **AOC** : Appellation d'origine contrôlée
- **AOP** : Appellation d'origine protégée
- **ASP** : Agence de services et de paiements
- **BAEA** : Bilan annuel de l'emploi agricole (le BAEA est élaboré à partir de deux sources : les recensements agricoles (RA) 2000 et 2010, d'une part, et les données annuelles de la mutualité sociale agricole (MSA), d'autre part, en vue de permettre une actualisation des données entre deux RA.
- **BDNI** : Base de données nationale d'identification
- **BSS :** Banque de données du sous-sol
- **CDA** : Chambre Départementale d'Agriculture
- **Cesaer** : Centre d'économie et de sociologie appliquées à l'agriculture et aux espaces ruraux
- CGA :
- **Civa** : Comité interprofessionnel des vins d'Alsace
- **Clap** : Connaissance locale de l'appareil productif
- **CNAOL** : Conseil National des appellations d'origine laitières
- **Cop** : Céréales, oléagineux, protéagineux
- **Cuma** : Coopérative d'utilisation de matériel en commun
- **Dares** : Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques
- **DDT** : Direction départementale des territoires
- **Draaf** : Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
- **EARL** : Exploitation agricole à responsabilité limitée
- **EBE** : Excédent brut d'exploitation
- **Esane** : Elaboration des statistiques annuelles d'entreprise
- **ETA** : Entreprise de travaux agricoles
- **ETP** : Equivalent temps plein
- **Exploitation agricole** : unité économique qui participe à la production agricole avec une certaine dimension, soit 1 hectare de surface agricole utilisée, soit 20 ares de cultures spécialisées, soit une production supérieure à un seuil (1 vache ou 6 brebis mères…)
- **GFA Mutuel :** Le Groupement Foncier Agricole Mutuel, issu du syndicalisme agricole, permet d'aider un fermier qui ne peut acquérir seul le fonds qu'il exploite.
- **FAM** : France AgriMer
- **Gaec** : Groupement agricole d'exploitation en commun
- **g/l** : gramme par litre
- **ha** : hectare (10 000 m^2)
- **hl** : hectolitre (100 litres)
- **IA** : Insémination artificielle

- **ICHN** : Indemnité compensatoire de handicaps naturels
- **IGN** : Institut géographique national
- **IGP :** Indication géographique protégée
- **INAO** : Institut national de l'origine et de la Qualité
- **IPAMPAN** : Indice des prix d'achat des moyens de production agricole
- **Inra** : Institut national de la recherche agronomique
- **Insee** : Institut national de la statistique et des études économiques
- **MAEC :** Mesures agro-environnementales et climatiques
- **MAET** : Mesures agro-environnementales territorialisées
- **mg :** milligramme
- **MSA** : Mutualité sociale agricole Les données présentées sont issues des Tableaux de bord de l'emploi (TBE) diffusés par la MSA. Le champ MSA exclut les exploitants agricoles dont l'exploitation procure une activité inférieure à l'activité minimale d'assujettissement (AMA). Les cotisants solidaires et les exploitants des plus petites exploitations sont donc exclus. Seules les activités liées à la production agricole (culture et/ou élevage) sont retenues.
- **NAF** : Nomenclature d'activités française. Un code est attribué par l'Insee à chacun des secteurs d'activités économiques. Il permet à l'institut de statistiques d'octroyer à chaque entreprise française et à chacun de ses établissements un code APE (Activité principale exercée).
- **nc** : Non connu
- **Otex** : Orientation technico-économique des exploitations
- **PA** : Production animale
- **PACAGE** : Numéro d'identification d'une exploitation agricole
- **PHAE** : Prime herbagère agro-environnementale
- **Production brute standard** (coefficients PBS) : La PBS valorise un potentiel de production des exploitations et permet de classer les exploitations selon leur dimension économique en « moyennes et grandes exploitations », quand elle est supérieure ou égale à 25 000 euros, en « grandes exploitations » quand elle est supérieure ou égale à 100 000 euros.
- **PV** : Production végétale
- **RGA** : Recensement général agricole
- **Rica** : Réseau d'information comptable agricole
- **RNEA** : Revenu net d'entreprise agricole
- **s** : Donnée soumise au secret statistique
- **SAA** : Statistique agricole annuelle
- **Safer** : Société d'aménagement foncier et d'établissement rural
- **SAU** : Surface agricole utile. La SAU est composée de : terres arables (grande culture, cultures maraîchères, prairies artificielles…), surfaces toujours en herbe (prairies permanentes, alpages), cultures pérennes (vignes, vergers…). Elle n'inclut pas les bois et forêts. Elle comprend en revanche les surfaces en jachère (comprises dans les terres arables).
- **Scafr** : Société de conseil pour l'aménagement foncier rural
- **Srise** : Service régional de l'information statistique et économique
- **SIQO** : Signe officiel d'identification de la qualité et de l'origine
- **Siren** : Système d'identification du répertoire des entreprises
- **SRFD** : Service régional de la formation et du développement
- **SSP** : Service de la statistique et de la prospective
- **STH** : Surface toujours en herbe des exploitations, c'est-à-dire depuis plus de cinq ans
- **TEC** : Tonne équivalent carcasse

- **UGB :** Unité Gros Bétail
- **UMR** : Unité mixte de recherche
- **Urssaf** : Union de recouvrement des cotisations de sécurité sociale et d'allocations familiales
- **UTA** : Unité de travail annuel (fait suite à celle d'UTH). Le volume du travail utilisé par les exploitations agricoles est exprimé en unité de travail annuel. Il s'agit d'une mesure en équivalent temps plein de l'ensemble du travail fourni sur l'exploitation (par les chefs d'exploitation et coexploitants ou associés, les salariés et non-salariés permanents, les salariés saisonniers et par les entreprises de travaux agricoles et les coopératives d'utilisation de matériel agricole intervenant sur l'exploitation). Un équivalent temps plein correspond à 225 jours de travail dans l'année. L'UTA utilise une unité dérivée de l'UTH qui ne tient compte ni de l'âge, ni des possibilités physiques de chaque travailleur
- **UTH** : Unité de Travailleur Humain, soit l'équivalent d'un temps complet sur une exploitation.
- **Utat** : Unité de travail agricole total
- **Utans** : Unité de travail annuel non salarié



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr

© Andra • Novembre 2020 • Création graphique : Agence Les Récréateurs • Crédits photos : Andra

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Décret n°2013-1211 du 23 décembre 2013 relatif à la procédure d'évaluation des investissements publics en application de l'article 17 de la loi n° 2012-1558 du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012 à 2017 (2013). Journal officiel de la République française, N°0299.

2 Avis du SGPI n°2021-71 : procédure contre-expertise du dossier d'évaluation socio-économique du projet global Cigéo. Secrétaire général pour l'investissement; Premier ministre (2021). Disponible à l'adresse : www.andra.fr/sites/default/files/2021-03/Avis_Cig%C3%A9o_SGPI.pdf.

3 Avis de la Commission Départementale de la Préservation des Espaces naturels, Agricoles et Forestiers de la Meuse sur l'étude préalable agricole du projet global Cigéo. Préfet de la Meuse; Direction départementale des territoires de la Meuse (2021). 2 p.

4 Avis de la Commission Départementale de la Préservation des Espaces naturels, Agricoles et Forestiers de la Haute-Marne sur l'étude préalable agricole du projet global Cigéo. Préfet de la Haute-Marne; Direction départementale des territoires Haute-Marne (2021). 2 p.

5 Avis de la Préfète sur l'étude préalable agricole du projet global Cigéo. Préfet de la Meuse; Direction départementale des territoires de la Meuse (2021). 2 p.

6 Avis du Préfet de la Haute-Marne sur l'étude préalable agricole du projet global Cigéo. Préfet de la Haute-Marne; Direction départementale des territoires Haute-Marne (2021). 2 p.

© Andra • 2021 • Création graphique : Agence Les Récréateurs • Crédits photos : Andra

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr