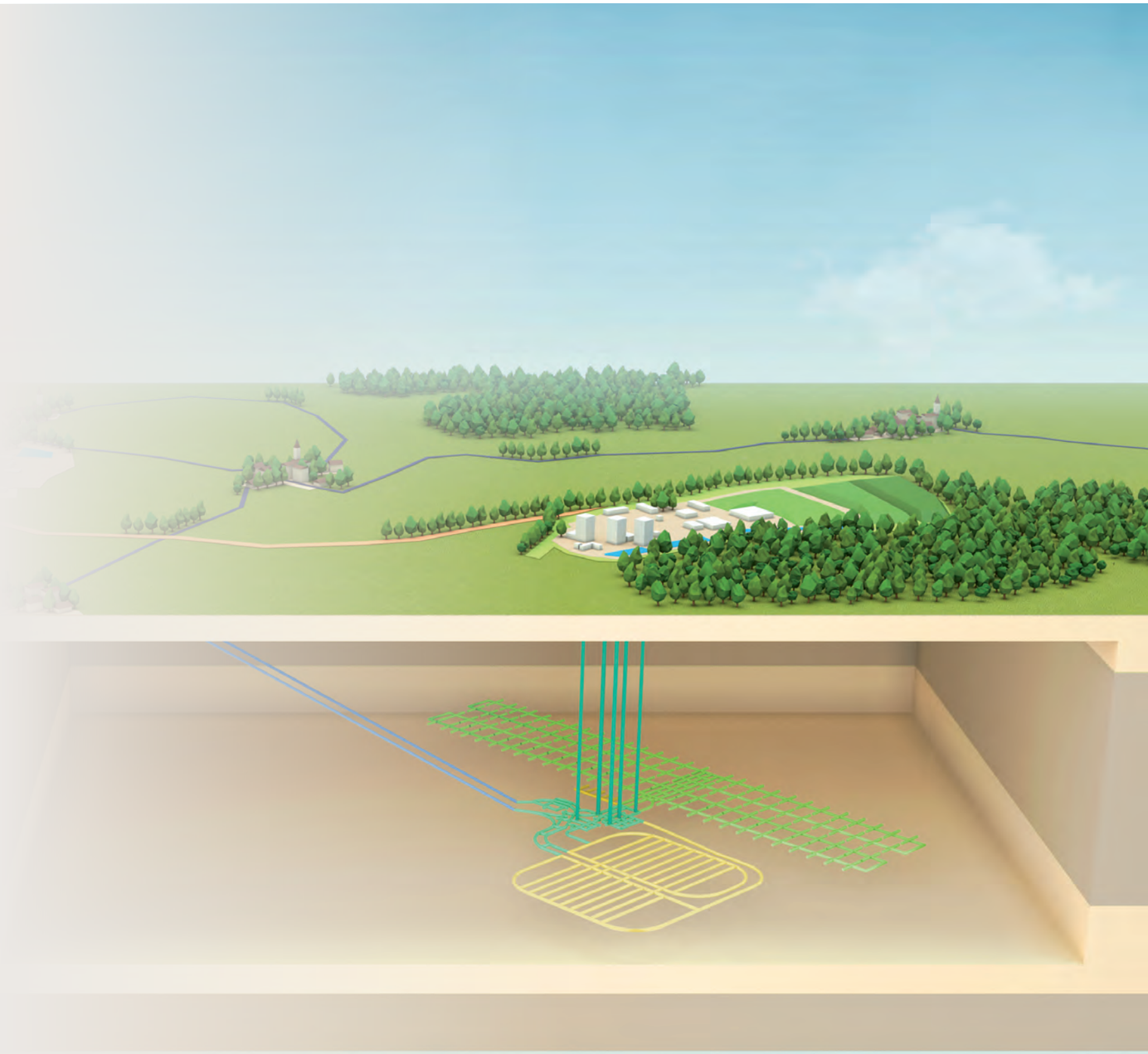
RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Décembre 2022

DOSSIER D'AUTORISATION DE CRÉATION DE L'INSTALLATION NUCLÉAIRE DE BASE (INB) CIGÉO



PIÈCE 6

Étude d'impact du projet global Cigéo

Volume 2
Justification et description du projet global Cigéo

Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo
Pièce 6 : Étude d'impact du projet global Cigéo
Volume 2 : Justification et description du projet global Cigéo

CG-TE-D-EDM-AMOA-ESE-0000-22-0005/A

Sommaire

1. L'état des lieux de la gestion des déchets radioactifs en France et le besoin d'une solution de gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL 7

1.1 La radioactivité 8

1.1.1 Le phénomène physique 8
1.1.2 Les usages de la radioactivité 9
1.1.3 L'exposition à la radioactivité 9

1.2 Les déchets radioactifs 11

1.2.1 Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ? 11
1.2.2 Les principales sources de production des déchets radioactifs 11
1.2.3 La gestion des déchets radioactifs 12
1.2.4 Les volumes, activités et répartitions des différentes catégories de déchets par niveaux d'activité 15

1.3 Les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) 16

1.3.1 La présentation des déchets HA et MA-VL 16
1.3.2 La gestion actuelle des déchets HA et MA-VL en France 16
1.3.3 La dangerosité des déchets HA et MA-VL 18
1.3.4 Les volumes de déchets radioactifs HA et MA-VL à gérer 20

1.4 Le contexte de la gestion durable des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) 25

2. Les solutions de substitution examinées et la justification des principales raisons techniques et environnementales des choix effectués 27

2.1 Les exigences de protection pour la santé de l'homme et de l'environnement à prendre en compte 28

2.2 Le choix du stockage géologique parmi les différentes pistes de gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL 29

2.2.1 Le contexte 29
2.2.2 L'entreposage de longue durée des déchets 29
2.2.3 La réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation 31
2.2.4 L'envoi des déchets dans l'espace 34
2.2.5 L'évacuation des déchets dans les fonds marins et dans les calottes glacières 35
2.2.6 Le stockage des déchets dans le milieu géologique continental 36
2.2.7 La synthèse comparative des modes de gestion vraisemblables des déchets HA et MA-VL envisagés 45
2.2.8 La voie du stockage en formation géologique profonde est adoptée internationalement 55
2.2.9 La poursuite des recherches sur les solutions alternatives 57

2.3 Le choix français du stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien 58

2.3.1 Le choix technique initial de stockage des déchets HA et MA-VL dans la formation du Callovo-Oxfordien dans le sous-sol des départements de la Meuse et de la Haute-Marne 58
2.3.2 Les travaux et investigations menés pour confirmer le choix technique initial du stockage des déchets HA et MA-VL dans la formation du Callovo Oxfordien 61
2.3.3 Le Parlement et le gouvernement confirment le choix du stockage des déchets HA et MA-VL en couche géologique profonde 70
2.3.4 La poursuite de l'engagement des départements de Meuse et Haute-Marne pour l'accueil d'un stockage en couche géologique profonde 73

2.4 Les choix d'implantation du centre de stockage Cigéo et des autres opérations associées 74

2.4.1 Les choix d'implantation du centre de stockage Cigéo 74
2.4.2 Les choix d'implantation des autres opérations associées à la création du centre de stockage Cigéo 97

2.5 Les principaux choix techniques et environnementaux effectués pour la conception du centre de stockage Cigéo 108

2.5.1 Les choix d'aménagement du centre de stockage 108
2.5.2 Les choix de conception liés à la sûreté des installations ainsi qu'à l'évolution progressive des connaissances scientifiques et technologiques 111
2.5.3 Les choix de conception environnementale du centre de stockage Cigéo 123

2.6 Un projet développé en dialogue avec la société 136

2.6.1 L'information et la communication locale 136
2.6.2 Le dialogue et la concertation 137
2.6.3 La contribution de l'Andra au dispositif de santé publique 145
2.6.4 Les enseignements de la concertation relative au centre de stockage Cigéo 145

2.7 Pourquoi engager la réalisation du centre de stockage Cigéo maintenant ? 146

2.7.1 Le stockage géologique est le seul mode de gestion à maturité pour la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs les plus dangereux (déchets HA et MA-VL) 146
2.7.2 Le projet de centre de stockage Cigéo permet d'avancer prudemment et d'offrir aux générations suivantes un mode de gestion durable des déchets HA et MA-VL 147
2.7.3 Le risque de la perte de compétence 147
2.7.4 La construction et l'exploitation du centre de stockage Cigéo ne s'opposent pas aux autres voies complémentaires de gestion 148
2.7.5 Le projet de centre de stockage Cigéo ne préempte pas les décisions des générations futures 148

3. La description des installations du projet global Cigéo en fonctionnement 151

3.1 Les opérations constituant le projet global Cigéo 152

3.2 Le centre de stockage Cigéo sous maitrise d'ouvrage Andra 153

3.2.1 La présentation générale 153
3.2.2 L'INB Cigéo objet de la demande d'autorisation de création 166
3.2.3 La zone descenderie 175
3.2.4 La zone puits 191
3.2.5 La zone d'implantation des ouvrages souterrains 207
3.2.6 La liaison intersites 222
3.2.7 L'installation terminale embranchée 223

3.3 Les autres opérations du projet global Cigéo, nécessaires à la réalisation et à l'exploitation du centre de stockage, menées par l'Andra et par d'autres maîtres d'ouvrage 226

3.3.1 L'opération « alimentation électrique » 226
3.3.2 L'opération « adduction d'eau » 235
3.3.3 L'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 » 237
3.3.4 L'opération « déviation de la route départementale D60/960 » 240
3.3.5 L'opération « expédition et transport des colis de déchets » 243
3.3.6 Les opérations de « caractérisation et surveillance environnementale » 246

4. Le phasage du projet global Cigéo et la réversibilité du stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL 251

4.1 Les phases temporelles successives de déploiement du projet global Cigéo 252
4.1.1 La phase d'aménagements préalables 254
4.1.2 La phase de construction initiale 254
4.1.3 La phase de fonctionnement 254
4.1.4 La phase de démantèlement et de fermeture 255
4.1.5 Les phases de surveillance et de post-surveillance 256

4.2 La phase industrielle pilote 257
4.2.1 L'origine de la phase industrielle pilote et son inscription dans la réglementation 257
4.2.2 Les apports techniques de la phase industrielle pilote 257
4.2.3 Les apports de la phase industrielle pilote en termes de gouvernance 257
4.2.4 Les impacts environnementaux de la phase industrielle pilote 258

4.3 La réversibilité du stockage 259
4.3.1 Le concept de réversibilité et les exigences réglementaires 259
4.3.2 Le concept de progressivité de la construction 260
4.3.3 Le concept de flexibilité de l'exploitation 260
4.3.4 Le concept d'adaptabilité de la conception 262
4.3.5 Le concept de récupérabilité des déchets 262

5. Les principaux travaux et leurs modalités d'exécution 265

5.1 Les travaux en phase d'aménagements préalables 266
5.1.1 Les travaux relatifs au centre de stockage Cigéo 266
5.1.2 Les travaux hors du centre de stockage Cigéo 267

5.2 Les travaux en phase de construction initiale 270
5.2.1 Les travaux relatifs au centre de stockage Cigéo 270
5.2.2 Le déploiement des installations temporaires de chantier 271
5.2.3 Les installations de chantier spécifique 271
5.2.4 La gestion des matériaux excavés de la zone « travaux » de la zone puits 272
5.2.5 L'ouvrage de protection des remontées de nappes phréatiques 272

5.3 Les travaux en phase de fonctionnement 273
5.3.1 L'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH) 273
5.3.2 Le bâtiment nucléaire de surface EP2 273
5.3.3 Les déconstructions/constructions de certains bâtiments et ouvrages de surface 273
5.3.4 L'extension des ouvrages souterrains et la gestion des matériaux excavés de la zone « travaux » de la zone puits 273

5.4 Les travaux en phase démantèlement et fermeture 274

6. L'estimation des consommations de ressources et des émissions et résidus attendus 275

6.1 Les consommations de ressources 276
6.1.1 L'énergie 276
6.1.2 L'eau 277
6.1.3 Les matériaux de construction 278

6.2 Les émissions et résidus attendus 279
6.2.1 Les terres et matériaux excavés 279
6.2.2 Les émissions atmosphériques 281
6.2.3 Les émissions liquides 284
6.2.4 Les émissions dans le sol et le sous-sol 287
6.2.5 Les émissions sonores 287
6.2.6 Les émissions vibratoires 289
6.2.7 Les émissions lumineuses 290
6.2.8 Les émissions olfactives 290
6.2.9 Les rayonnements ionisants 290
6.2.10 Champs électriques et magnétiques 290
6.2.11 Les déchets 291

Tableau de traçabilité des principales évolutions de fond de l'étude d'impact 295

Tables des illustrations 299

Références bibliographiques 303

Préambule

L'étude d'impact du « projet global Cigéo » est constituée de sept volumes pour l'étude elle-même et d'un résumé non technique de ces sept volumes.

	ÉTUDE D'IMPACT	
RNT	Résumé non technique de l'étude d'impact	
VOLUME I	Introduction et contexte réglementaire	
VOLUME II	**Justification et description du projet global Cigéo**	
VOLUME III	État initial de l'environnement et facteurs susceptibles d'être affectés par le projet	
	Partie 1 : chapitres 1 à 5	1 - Méthodologie d'analyse de l'état initial/2 – Atmosphère/3 – Sol/4 - Sous-sol/5 - Eaux
	Partie 2 : chapitres 6 à 8	6 - Biodiversité et milieu naturel/7 - Population, emploi, activités économiques et habitat/ 8 - Activités agricoles et sylvicoles
	Partie 3 : chapitres 9 à 17	9 – Réseaux/10 - Déchets radioactifs et conventionnels/11 – Risques/12 - Infrastructures de transport/13 - Cadre de vie/14 - Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs/15 - Planification territoriale et aménagement du territoire/16 - Interactions entre les différents milieux de l'environnement/17 - Synthèse des facteurs susceptibles d'être affectés par le projet global Cigéo et hiérarchisation des enjeux
	Partie 4	Annexes au volume III
VOLUME IV	Évaluation des incidences et mesures d'évitement, de réduction et de compensation de ces incidences	
	Partie 1 : chapitres 1 à 5	1 - Méthodologie d'analyse des incidences/2 – Atmosphère/3 – Sol/4 - Sous-sol/5 - Eaux
	Partie 2 : chapitres 6 à 8	6 - Biodiversité et milieu naturel/7 - Emploi, activités économiques, population et habitat/8 - Activités agricoles et sylvicoles
	Partie 3 : chapitres 9 à 22	9 – Réseaux/10 - Déchets radioactifs et conventionnels/11 – Risques/12 - Infrastructures de transport/13 - Cadre de vie/14 - Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs/15 - Planification territoriale et aménagement du territoire (y compris urbanisme) - Compatibilité avec les documents de planification territoriales/16 - Interactions et effets cumulés/17 - Meilleures techniques disponibles/18 - Incidences des opérations de démantèlement et de fermeture et incidences après fermeture définitive/19 - Nature et modalités de suivi des mesures environnementales et de surveillance/20 - Estimation des dépenses liées aux mesures prises pour l'environnement/21 - Évolution de l'environnement en cas de mise en œuvre du projet et en son absence/22 - Synthèse des incidences du projet global Cigéo sur l'environnement
	Partie 4	Annexes au volume IV
VOLUME V	Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000	
VOLUME VI	Évaluation des incidences sur la santé humaine	
VOLUME VII	Présentation des méthodes de réalisation de l'étude d'impact	

Le présent **volume II** a pour objet de justifier et décrire les différentes opérations qui composent le projet global Cigéo, objet de la présente étude d'impact. Il présente successivement :

- un état des lieux de la gestion des déchets radioactifs en France, dont les déchets radioactifs HA et MA-VL, et la justification du besoin d'une solution de gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL ;
- les solutions de substitution au stockage en couche géologique profonde des déchets HA et MA-VL examinées et la justification des principales raisons techniques et environnementales des choix effectués dans le cadre du projet global Cigéo ;
- la description des installations du projet global Cigéo en fonctionnement incluant le centre de stockage Cigéo (dont son installation nucléaire de base) et les installations des autres opérations qui lui sont associées ;
- le phasage du projet global Cigéo et le principe de réversibilité du stockage des déchets HA et MA-VL retenu pour la conception du centre de stockage Cigéo ;
- les principaux travaux menés dans le cadre du projet global Cigéo et leurs modalités d'exécution, toutes phases confondues ;
- les éléments relatifs à l'estimation des consommations de ressources et des émissions et résidus attendus dans le cadre du projet global Cigéo.

ÉTUDE D'IMPACT ET PROJET GLOBAL CIGÉO

La présente étude d'impact jointe au dossier de demande d'autorisation de création (DAC) du centre de stockage Cigéo est la première actualisation de l'étude d'impact du projet global Cigéo. La version initiale était jointe au dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo, délivrée en juillet 2022 (1). Cette nouvelle version apporte notamment plus de détails sur les incidences de la création de l'installation nucléaire de base (INB).

L'étude d'impact identifie et apprécie les incidences sur l'environnement du projet global Cigéo comprenant le centre de stockage Cigéo et l'ensemble des opérations (activités, installations, ouvrages, travaux et aménagements) nécessaires à la réalisation et à l'exploitation du centre de stockage Cigéo. Ces opérations sont menées par l'Andra et par d'autres maîtres d'ouvrage.

En raison de la nature et de la dimension du centre de stockage Cigéo, ses incidences sur l'environnement constituent la part majeure des incidences du projet global, même si les opérations des autres maîtres d'ouvrages sont également susceptibles d'avoir des incidences sur l'environnement.

Au stade de cette première actualisation de l'étude d'impact, les opérations des autres maîtres d'ouvrages liées au fonctionnement du centre de stockage Cigéo ne sont pas aux mêmes stades d'avancement de leurs conceptions et de leurs processus de concertation et de validation. L'analyse de leur impact est donc proportionnée à leur stade d'avancement respectif. Une des évolutions majeures de cette première actualisation est l'intégration des éléments en lien avec l'étude de maitrise des risques (cf. « Pièce 8 – Étude de maîtrise des risques » (2) de la présente demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo), qui présente l'inventaire des risques de l'installation projetée ainsi que l'analyse des dispositions prises pour prévenir ces risques et des mesures propres à limiter la probabilité des accidents et leurs effets.

Compte tenu des nombreuses autorisations qui sont nécessaires à la réalisation du projet global Cigéo (autorisation de création d'une installation nucléaire de base, autorisations environnementales, permis de construire…), la présente étude d'impact sera actualisée préalablement à chaque dépôt de demande d'autorisation à venir. Ces actualisations permettront d'assurer la qualité de l'évaluation des incidences environnementales du projet global Cigéo, à chaque étape de sa conception et de sa réalisation.

Les maîtres d'ouvrage assureront collectivement, au travers desdites actualisations, l'évaluation des incidences du projet global Cigéo, y compris la définition des mesures d'évitement, de réduction, et le cas échéant de compensation.

1

L'état des lieux de la gestion des déchets radioactifs en France et le besoin d'une solution de gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL

1.1 La radioactivité 8

1.2 Les déchets radioactifs 11

1.3 Les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) 16

1.4 Le contexte de la gestion durable des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) 25

Le présent chapitre a pour objectif de présenter l'état des lieux de la gestion des déchets radioactifs en France, lequel justifie le besoin d'une solution de gestion durable des déchets les plus dangereux. Pour ce faire, il présente successivement :

- un rappel sur la notion de radioactivité (phénomène physique, usages de la radioactivité, conséquences de l'exposition à la radioactivité) ;
- un état des lieux de la gestion de déchets radioactifs en France (nature et origine des déchets, modalités de gestion actuelle, volumes à gérer) ;
- une description de la typologie et du volume des déchets les plus dangereux pour lesquels une solution de gestion durable, sur le très long terme, doit être étudiée.

1.1 La radioactivité

1.1.1 Le phénomène physique

La radioactivité est un phénomène naturel qui existe depuis l'origine de l'Univers (il y a des milliards d'années) lorsque les atomes se sont formés. Tous bâtis sur le même modèle, les noyaux de ces atomes n'ont pourtant pas les mêmes propriétés.

Les atomes sont composés de trois types de particules :

- les protons, chargés positivement, présents dans le noyau ;
- les neutrons, non chargés, également présents dans le noyau ;
- les électrons, chargés négativement, qui gravitent autour du noyau.

Tous les éléments chimiques identifiés dans le tableau de Mendeleïev ont des isotopes.

Les isotopes sont des atomes de même nature chimique tel que l'hydrogène (H), le chlore (Cl), le Strontium (Sr), le fer (Fe)…) dont le noyau possède le même nombre de protons caractérisant l'élément chimique, mais un nombre différent de neutrons caractérisant chaque isotope (ex : ^{56}Fe, ^{55}Fe, ^{60}Fe, etc.).

À titre d'illustration, le fer possède 28 isotopes et l'hydrogène en présente trois : l'hydrogène « classique » (H), le deutérium (^{2}H) et le tritium (^{3}H) sont des isotopes qui possèdent tous un proton (cf. Figure 1-1). L'hydrogène « classique » ne possède pas de neutron, le deutérium en possède un et le tritium en possède deux.

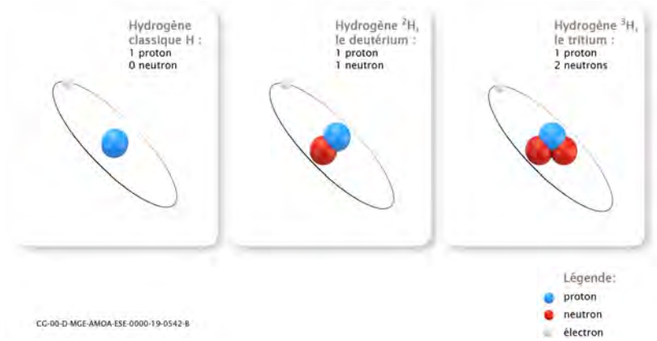


Figure 1-1 Isotopes de l'hydrogène

De son côté, l'uranium a 17 isotopes qui possèdent tous 92 protons, mais dont le nombre de neutrons varie entre 125 et 150. Seulement trois sont présents naturellement sur terre : l'uranium 238 (^{238}U) avec 146 neutrons, l'uranium 235 (^{235}U) avec 143 neutrons et l'uranium 234 (^{234}U) avec 142 neutrons. L'uranium 238 représente 99 % de l'abondance naturelle en uranium.

Les isotopes d'un même élément ont des propriétés chimiques identiques, mais des propriétés physiques différentes.

Certains isotopes sont stables et restent identiques à eux-mêmes. C'est le cas par exemple de l'hydrogène et du deutérium. D'autres sont instables et vont se désintégrer, c'est-à-dire qu'ils vont émettre un rayonnement et devenir un atome de nature différente, pour acquérir une meilleure stabilité. C'est le cas par exemple du tritium. Cette désintégration peut conduire à créer un élément stable (ex : ^{56}Fe) ou un nouveau radionucléide qui se désintègrera en un autre élément stable ou radioactif et ainsi de suite. C'est ce qui est appelé la décroissance radioactive.

En se désintégrant, ces atomes - qu'on appelle radionucléides - expulsent de l'énergie sous forme de rayonnement et/ou de particules. Ce phénomène, appelé « radioactivité », est illustré sur la figure 1-2. Différents types de rayonnements/particules peuvent être émis lors de la désintégration des radionucléides, par exemple les rayonnements alpha (α), bêta (β) et gamma (γ). En plus des rayonnements, une certaine quantité d'énergie peut aussi être éliminée sous forme de chaleur[1].

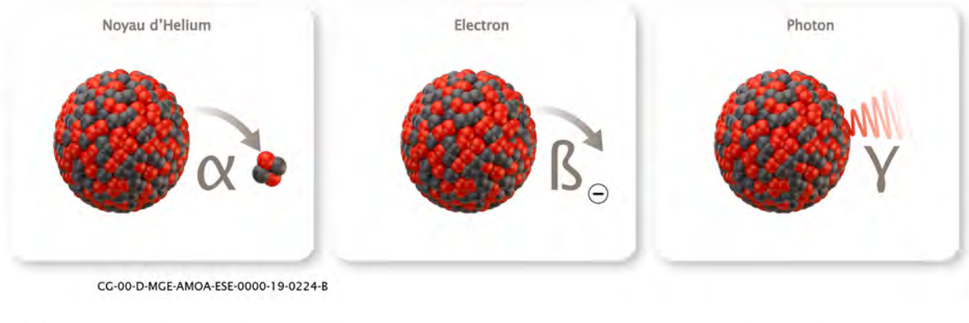


Figure 1-2 Illustration de différents types de rayonnements pouvant être émis par les radionucléides

L'unité internationale de mesure de la radioactivité est le Becquerel (Bq). Le nombre de Becquerel correspond au nombre de désintégrations qui se produisent à chaque seconde au sein d'une certaine masse de matière contenant des radionucléides. À titre d'exemple, l'activité naturelle du corps d'un adulte de 70 kg est de l'ordre de 8 000 Bq à 10 000 Bq. Cela signifie que 8 000 atomes à 10 000 atomes se désintègrent à chaque seconde dans son corps.

On appelle « période » radioactive le temps au bout duquel une quantité d'un même radionucléide est divisée par deux, suite aux désintégrations qu'il a subies. Elle est très variable en fonction des radionucléides. À titre d'exemple, une quantité donnée d'iode 131 (^{131}I) se divise par deux en huit jours, alors qu'il faut 5 700 ans pour le carbone 14 (^{14}C).

LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

La radioactivité est un phénomène physique naturel. Elle peut aussi être générée artificiellement par des activités humaines.

En 1934, Irène et Frédéric Joliot Curie ont mis en évidence la radioactivité artificielle en bombardant une feuille d'aluminium avec des noyaux d'hélium. Ils obtinrent artificiellement le phosphore 30, isotope à période très courte (environ trois minutes).

De façon générale, la radioactivité artificielle consiste à créer des noyaux radioactifs qu'on ne trouve pas spontanément dans la nature au moyen d'un accélérateur de particule ou d'un réacteur nucléaire. Les radionucléides créés artificiellement sont largement utilisés dans le domaine médical pour l'imagerie.

[1] Certains isotopes du plutonium, du strontium, du curium ou de l'américium présents dans certains déchets radioactifs, sont connus pour dégager des quantités significatives d'énergie thermique lors de leur désintégration.

1.1.2 Les usages de la radioactivité

Depuis sa découverte par Henri Becquerel, Marie et Pierre Curie au tournant du XXème siècle, la radioactivité a donné lieu à de nombreuses applications.

La radioactivité est utilisée principalement dans cinq secteurs économiques :

- la production d'électricité : centrales nucléaires et usines pour la fabrication et le traitement des combustibles nucléaires utilisés par les centrales ;
- la défense nationale : activités liées à la force de dissuasion, à la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins et à la recherche associée ;
- l'industrie classique : utilisation de sources radioactives pour diverses applications (contrôle des soudures, stérilisation du matériel médical, stérilisation et conservation de produits alimentaires...) ;
- la recherche : principalement la recherche menée dans le domaine du nucléaire par le CEA, mais aussi la physique des particules, l'agronomie, la chimie et la biologie ;
- le domaine médical : diagnostics, traitements et recherches associées.

Comme toute activité humaine, ces utilisations produisent des déchets, dont certains sont radioactifs, c'est-à-dire qu'ils contiennent des radionucléides.

1.1.3 L'exposition à la radioactivité

1.1.3.1 L'exposition et ses conséquences

Lorsqu'un rayonnement traverse un matériau ou un être vivant, il peut y déposer tout ou partie de son énergie. On dit qu'il délivre une « dose » d'énergie dans le matériau. Les principaux rayonnements produits par la radioactivité sont susceptibles de générer des ions lors de la traversée d'un matériau, c'est pourquoi ils sont dits « ionisants ».

Un matériau qui absorbe l'énergie de rayonnements ionisants est dit « irradié ». La dose absorbée varie selon le niveau de radioactivité (en Bq) de la source de rayonnement, la distance à laquelle le matériau irradié se trouve de la source et les écrans éventuels que les rayonnements doivent traverser (cf. Figure 1-3).

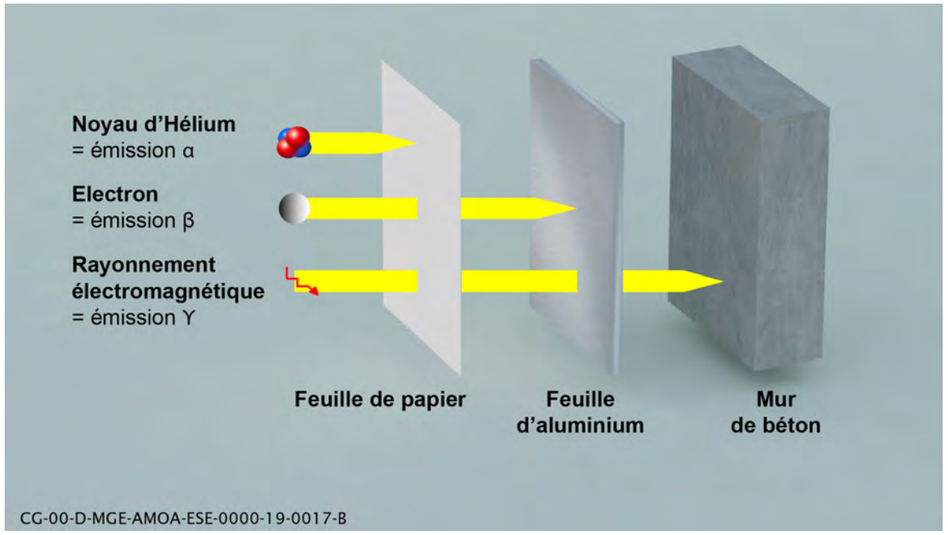


Figure 1-3 Schéma de l'atténuation par des écrans de différents rayonnements ionisants

Le gray est l'unité internationale de mesure de la « dose absorbée ». La dose absorbée correspond à la quantité d'énergie absorbée par une masse donnée de matière lorsqu'elle est exposée à des rayonnements.

L'exposition aux rayonnements ionisants peut causer des dommages aux organismes vivants. C'est pour cette raison que les applications qui utilisent la radioactivité présentent des dangers spécifiques. Le risque généré par l'exposition aux rayonnements ionisants dépend de la dose absorbée par l'organisme, mais aussi du type de rayonnement et de la sensibilité particulière à ces rayonnements des tissus ou organes vivants exposés.

Pour prendre en compte le risque sanitaire de l'exposition aux rayonnements ionisants, des pondérations sont apportées à la mesure de la dose absorbée. Le gray (dose absorbée quel que soit le type de matériau) se traduit alors en sievert, unité internationale de mesure de la « dose efficace » ou « dose efficace absorbée » par un organisme vivant. C'est le sievert qui est utilisé pour la radioprotection et pour l'évaluation des impacts sur la santé. Toutefois, cette unité est très grande et, en pratique, ce sont souvent ses sous-multiples qui sont rencontrés : le millisievert (1 mSv = 0,001 Sv) ou le microsievert (1 µSv = 0,000 001 Sv).

1.1.3.2 Les niveaux d'exposition à la radioactivité en France

Il existe deux grands types de sources d'exposition à la radioactivité.

Les sources naturelles :

- rayonnements d'origine cosmique ;
- rayonnements provenant d'éléments radioactifs présents naturellement dans les aliments ou dans le sol. Par exemple, le granite contient des traces d'uranium et émet du radon, un gaz radioactif naturel.

L'exposition aux sources naturelles dépend principalement des lieux d'habitation et des modes de vie. Ainsi, le personnel navigant des compagnies aériennes est significativement exposé aux rayons cosmiques.

Les sources artificielles :

- rayonnements utilisés pour des activités médicales ;
- rayonnements provenant des activités des installations nucléaires (centrales nucléaires...).

L'exposition aux sources artificielles concerne principalement les personnels de santé ainsi que les travailleurs des installations nucléaires. Les patients soumis à des examens d'imagerie médicale, comme une radiographie ou un scanner, sont également concernés. Les essais atmosphériques d'armes nucléaires et les accidents d'installations nucléaires (Tchernobyl, Fukushima...) ont disséminé des radionucléides dans l'environnement qui constitue également une source d'irradiation (3).

» L'EXPOSITION À LA RADIOACTIVITÉ PEUT SE FAIRE DE PLUSIEURS MANIÈRES (CF. FIGURE 1-4)

On parle **d'irradiation ou d'exposition externe** lorsqu'une personne se trouve exposée à des rayonnements émis par une source radioactive située à l'extérieur du corps. Dans ce cas, l'exposition est réduite, voire cesse, dès lors que la source de radioactivité est éloignée de la personne ou si un écran est interposé entre la personne et la source.

On parle **de contamination ou d'exposition interne** lorsqu'une personne est exposée à des rayonnements émis par des éléments radioactifs qui ont pénétré à l'intérieur de son organisme. Ceci peut se produire par inhalation de substances radioactives présentes dans l'air, par ingestion d'aliments contenant des substances radioactives ou par transfert à travers la peau. Lors d'une contamination, l'exposition aux substances radioactives se poursuit tant que la source est à l'intérieur ou au contact du corps.

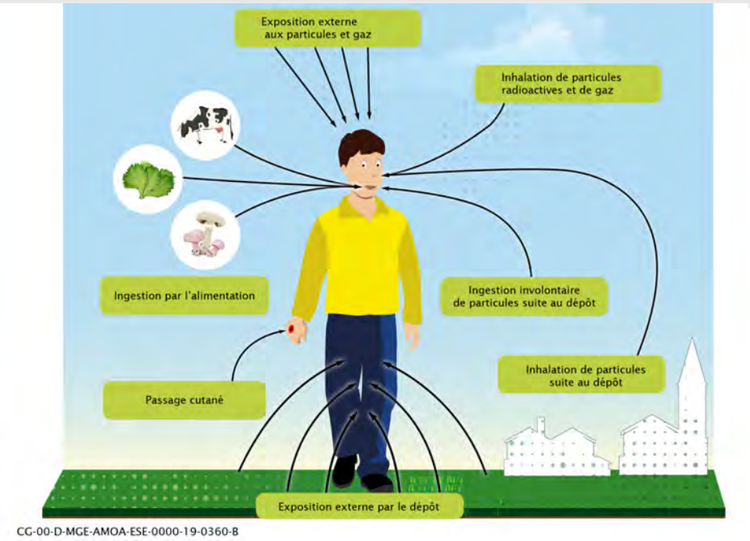


Figure 1-4 Schéma des voies d'exposition à la radioactivité

En France métropolitaine, l'exposition moyenne aux différentes sources de radioactivité représente une dose efficace absorbée par le corps entier de 4,5 millisieverts par an (mSv.an^{-1}) (4). Comme le montre la figure 1-5 :

- cette dose est principalement liée à la radioactivité d'origine naturelle : inhalation de radon, exposition à la radioactivité naturelle du sol, ingestion d'eau et d'aliments et exposition aux rayonnements cosmiques (2,9 mSv.an^{-1}) ;
- elle est ensuite liée aux expositions lors des diagnostics médicaux (1,6 mSv.an^{-1}) ;
- enfin, la part résultant des installations nucléaires industrielles et militaires est très faible (0,02 mSv.an^{-1}), dont environ 0,01 mSv.an^{-1} pour les installations nucléaires industrielles, la limite réglementaire d'exposition du public pour ce type d'activité industrielle étant de 1 mSv.an^{-1}.



Figure 1-5 Valeurs moyennes d'expositions aux sources de radioactivité en France en 2021 (source IRSN) (5)

[2] En cas de situation d'urgence radiologique, les valeurs seuils de mise à l'abri et d'évacuation de la population sont fixées respectivement à 10 mSV et à 50 mSv par la décision n° 2009-DC-0153 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 18 août 2009 (7) et reprises par l'article D 1333-84 du code de l'environnement.

1.1.3.3 Les limites associées aux effets sur la santé de l'exposition à la radioactivité

L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) précise les risques liés à l'exposition aux rayonnements (6).

La limite d'exposition du public est de 1 mSv.an^{-1} en dehors des expositions médicales et naturelles. Pour les travailleurs du nucléaire, la limite réglementaire d'exposition est en France de 20 mSv.an^{-1}.

En cas d'accident nucléaire, à partir d'une exposition de 10 mSv, l'autorité compétente préconise une mise à l'abri des populations. Cette dose représente environ deux fois la dose annuelle moyenne totale reçue par la population française et trois fois la dose annuelle moyenne due à la radioactivité d'origine naturelle (cf. Chapitre 1.1.3.2 du présent volume). Au-delà de 50 mSv[2], l'évacuation est recommandée. Cela représente 15 fois la dose annuelle moyenne reçue par la population française.

Pour un niveau inférieur à 100 mSv, aucun effet à long terme sur la santé n'a été démontré. Les études n'ont pas établi de façon indiscutable l'existence d'une relation entre dose de rayonnements reçus et risque de cancers ou maladies non cancéreuses notamment en raison des incertitudes qui accompagnent ce type d'étude.

Au-delà de 100 mSv, des effets à long terme des rayonnements ionisants ont été démontrés par des études épidémiologiques (étude des populations d'Hiroshima et de Nagasaki). Ces études menées pendant plus de 60 ans sur près de 90 000 survivants des bombardements nucléaires ont montré avec certitude que le risque de cancers augmente de manière significative chez les personnes ayant reçu une dose de rayonnements ionisants supérieure à 100 mSv.

Synthèse – La radioactivité

La radioactivité est un phénomène physique pouvant être d'origine naturelle (rayonnements d'origine cosmique ou provenant d'éléments radioactifs présents naturellement dans les aliments ou dans le sol), ou d'origine artificielle.

Différents secteurs économiques utilisent les propriétés de la radioactivité et produisent des déchets radioactifs. Il s'agit de :

- la production d'électricité ;
- la défense nationale ;
- l'industrie classique ;
- la recherche ;
- le domaine médical.

L'exposition à la radioactivité peut causer des dommages aux organismes vivants. Le risque généré par l'exposition aux rayonnements ionisants dépend de la dose absorbée par l'organisme, mais aussi du type de rayonnement et de la sensibilité particulière des tissus ou organes vivants exposés.

En France métropolitaine, l'exposition moyenne aux différentes sources de radioactivité représente une dose efficace absorbée par le corps entier de 4,5 millisieverts par an (mSv.an^{-1}) (8). Cette dose est principalement liée à la radioactivité d'origine naturelle, mais également aux expositions lors des diagnostics médicaux. La part résultant des installations nucléaires industrielles est très faible (0,01 mSv).

1.2 Les déchets radioactifs

1.2.1 Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ?

Selon le code de l'environnement, un déchet est défini comme « *toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire* » (article L. 541-1-1 du code de l'environnement). Un déchet est considéré comme « *ultime* », s'il n'est plus susceptible d'être « *réutilisé ou valorisé dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux* » (article L. 541-2-1 du code de l'environnement).

Toujours selon le code de l'environnement, les déchets radioactifs sont « *des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ou qui ont été requalifiées comme tels par l'autorité administrative* » (article L. 542-1-1 du code de l'environnement). Ces déchets sont produits par les industries utilisant les propriétés de la radioactivité (cf. Chapitre 1.1.2 du présent volume).

Les déchets radioactifs ultimes sont « *des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux* » (article L. 542-1-1 du code de l'environnement).

En fonction de leur mode de production et de leur nature, les déchets radioactifs contiennent, en leur sein ou à leur surface, des radionucléides (uranium, radium, cobalt…) qui émettent des rayonnements nocifs. Les déchets radioactifs sont donc considérés comme des substances dangereuses qui doivent être gérées dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

En pratique, les déchets radioactifs sont des substances de natures très diverses. Il s'agit par exemple d'équipements déclassés ou hors d'usage (pompes, filtres, câbles…), de pièces et débris métalliques (coques issues du traitement des combustibles, structures démantelées…), de boues radioactives issues des procédés de décontamination d'effluents et de solutions radioactives.

Au titre de sa mission d'intérêt général, l'Andra réalise et publie périodiquement *l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs*. Cet Inventaire national fournit chaque année une vision aussi complète et exhaustive que possible des quantités de matières et déchets radioactifs présents sur le territoire français. Il est complété tous les cinq ans par des estimations des quantités de déchets à produire selon plusieurs scénarios contrastés liés au devenir des installations nucléaires et à la politique énergétique à long terme de la France.

Selon l'Inventaire national, il existait en France fin 2020 environ 1 700 000 m³ de déchets radioactifs (9).

DÉFINITION DES TERMES « DÉCHETS RADIOACTIFS » ET « MATIÈRES RADIOACTIVES »

Les principaux termes relatifs aux matières et déchets radioactifs sont définis à l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement.

Les **déchets radioactifs** désignent les substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée, ou qui ont été requalifiées comme tels par l'autorité administrative en application de l'article L. 542-13-2 du code de l'environnement. Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.

Les **matières radioactives** désignent en revanche les substances radioactives pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement. Par exemple, les combustibles usés comprennent 96 % de matière réutilisable (uranium et plutonium) à partir desquels on peut produire du combustible MOX. Le retraitement des combustibles usés, mis en œuvre à l'usine d'Orano La Hague, consiste à séparer l'uranium et le plutonium, valorisables, des actinides mineurs et produits de fission, qui ne sont pas valorisables et sont gérés en tant que déchets radioactifs (déchets de haute activité).

[3] Dans les combustibles déchargés des réacteurs après utilisation, de l'uranium et du plutonium peuvent être récupérés et réutilisés pour fabriquer de nouveaux combustibles.

1.2.2 Les principales sources de production des déchets radioactifs

Les centrales nucléaires de production d'électricité, les usines qui participent à la fabrication du combustible pour ces centrales et à leur retraitement et les installations de recherche associées sont les principaux producteurs de déchets radioactifs. Les déchets résultent directement de leurs activités, de leur maintenance et, à l'issue de leur fonctionnement, de leur démantèlement.

Plusieurs générations successives de réacteurs nucléaires ont été construites en France pour la production d'électricité dans les centrales nucléaires :

- la première génération, aujourd'hui arrêtée, comprend neuf réacteurs de type « uranium naturel-graphite-gaz » (UNGG) construits dans les années 1950-1960 :
  - ✓ sur le centre du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) de Marcoule (Gard – réacteurs G1, G2 et G3) ;
  - ✓ sur les sites EDF de Chinon (Indre-et-Loire – réacteurs Chinon A1, A2 et A3), Bugey (Ain – réacteur Bugey 1) et Saint-Laurent-des eaux (Loir-et-Cher – réacteurs Saint-Laurent A1 et A2) ;
- la deuxième génération correspond aux réacteurs à eau pressurisée actuellement en fonctionnement. Elle est constituée de 56 réacteurs en fonctionnement et 2 réacteurs arrêtés en 2020 répartis sur 19 sites, mis en service entre 1977 et 1999. Le premier réacteur de cette génération, mis en service sur le site de Chooz (Ardennes – réacteur Chooz A), est en cours de démantèlement ;
- la troisième génération correspond au réacteur EPR (*Evolutionary Power Reactor*) de Flamanville (Manche) actuellement en construction. Ce type de réacteur appartient aussi à la filière des réacteurs à eau pressurisée.

D'autres types de réacteurs électronucléaires sont aujourd'hui arrêtés. Il s'agit du prototype industriel de réacteur à eau lourde du site EDF de Brennilis (Finistère – réacteur EL 4), des réacteurs à neutrons rapides du site EDF de Creys-Malville (Isère - réacteur Superphénix) et du centre CEA de Marcoule (Gard – réacteur Phénix).

Les usines qui participent à la fabrication et au recyclage du combustible nucléaire permettent notamment d'enrichir l'uranium (pour augmenter sa teneur en ^{235}U), de constituer les assemblages de combustible utilisés dans les réacteurs et de les traiter après utilisation pour en récupérer la part valorisable[3]. Ces opérations sont réalisées dans des installations des groupes Framatome ou Orano, par exemple sur les sites de Romans sur Isère (Drôme, FBFC), Marcoule (Gard, Melox) et de La Hague (Manche).

Selon l'Inventaire national, les déchets radioactifs produits par le secteur électronucléaire (cf. Figure 1-6) au sens large (centrales et usines de fabrication des combustibles) représentent fin 2020 environ 60 % du volume total des déchets radioactifs (9).

Les principales installations de recherche productrices de déchets radioactifs sont exploitées par le CEA, notamment pour la conception de réacteurs de nouvelles générations, pour la gestion des combustibles et des déchets radioactifs et pour la Défense nationale. Parmi les principaux centres du CEA conduisant des activités nucléaires, on peut citer ceux de Marcoule (Gard) et de Cadarache (Bouches-du-Rhône). Outre les activités du CEA, la recherche menée dans le secteur médical, la physique des particules, l'agronomie, la chimie, la biologie produit elle-aussi des déchets radioactifs. Selon l'Inventaire national, au total, les déchets produits par la recherche représentent fin 2020 environ 27 % du volume total des déchets radioactifs (9).

Le secteur de la défense concerne principalement la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires de la Marine nationale et les activités liées aux armes du centre CEA de Valduc (Côte d'Or). Selon l'Inventaire national, les déchets produits par le secteur de la défense représentent fin 2020 environ 9 % du volume total des déchets radioactifs (9).

Les autres activités utilisant la radioactivité (industrie, irradiateurs, diagnostics médicaux…) produisent le restant des déchets radioactifs, soit environ 4 % à fin 2020, selon l'Inventaire national.

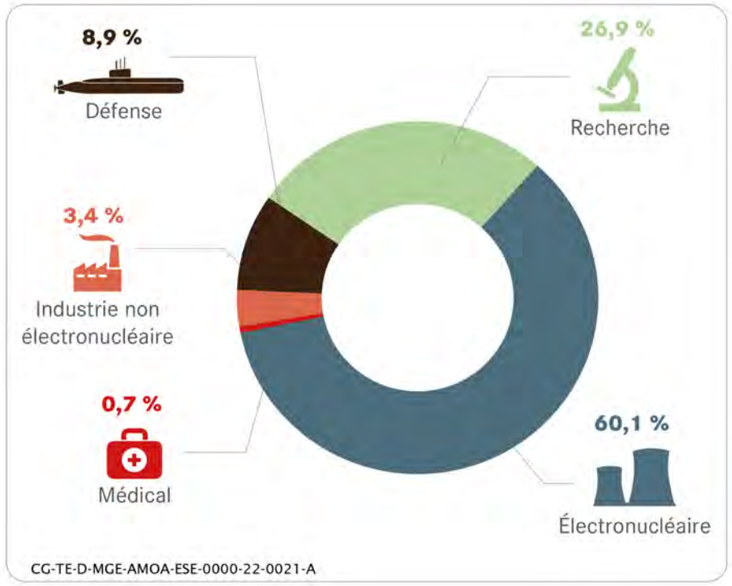


Figure 1-6 *Répartition par secteur économique du volume de déchets (en équivalent conditionné) déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra à fin 2020 (9)*

1.2.3 La gestion des déchets radioactifs

1.2.3.1 Les approches et stratégies pour la gestion des déchets radioactifs

L'article L. 542-1 du code de l'environnement fixe les objectifs de la gestion durable des déchets radioactifs. Selon cet article, « *la gestion durable des matières et des déchets radioactifs de toute nature, résultant notamment de l'exploitation ou du démantèlement d'installations utilisant des sources ou des matières radioactives, est assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement. 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.* ».

Lorsqu'ils sont produits, les déchets radioactifs se trouvent sous forme brute, gazeuse, liquide ou solide.

Trois approches ou stratégies pour leur gestion sont décrites par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)[4] :

- « diluer et disperser » ;
- « différer et décroître » ;
- « concentrer et confiner ».

Les « approches » de gestion au sens de l'AIEA sont parfois dénommées « filières », « voies » ou « solutions » de gestion dans les textes français.

L'approche « diluer et disperser » correspond au rejet dans le milieu naturel d'effluents liquides et gazeux. C'est une pratique globalement considérée comme légitime pour la gestion de certains effluents dès lors qu'elle est appliquée dans les limites et conditions fixées par les organismes de réglementation. Le rejet d'effluents dans le milieu naturel est pratiqué par les industries (cheminées des usines, centrales thermiques, rejets de station d'épuration des collectivités…) et par les particuliers (échappement des voitures individuelles, chauffage, assainissement par épandage…). Pour les rejets d'effluents radioactifs gazeux et liquides dans l'environnement, c'est l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui fixe les autorisations pour chaque installation nucléaire après avoir vérifié que leurs caractéristiques le permettent et qu'elles ne portent atteinte ni à la santé des personnes, ni à la qualité de l'environnement. Les exploitants des installations nucléaires sont tenus de réduire l'impact de ces rejets à des valeurs aussi basses que possible (10).

L'approche « différer et décroître » implique souvent de placer temporairement les déchets radioactifs dans une installation d'entreposage afin d'attendre que leur radioactivité décroisse. Elle constitue un mode de gestion durable pour les déchets radioactifs à vie très courte, dont la radioactivité disparait naturellement par décroissance radioactive sur une durée maximale de quelques années. Ils sont ensuite éliminés dans une filière conventionnelle correspondant à leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Pour les autres déchets radioactifs, cette approche permet d'attendre que des conditions de transport ou de disponibilité soient réunies avant leur transfert vers une unité de conditionnement, un autre entreposage d'attente ou une installation de stockage.

L'approche « concentrer et confiner » correspond à la réduction du volume des déchets et au confinement des radionucléides qu'ils contiennent. Le confinement est obtenu en premier lieu grâce à un processus de conditionnement destiné à empêcher ou à réduire considérablement le risque de leur dispersion dans l'environnement.

DÉFINITION DES TERMES « ENTREPOSAGE » ET « STOCKAGE »

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, avec intention de les retirer ultérieurement* ». Cette définition est équivalente à celles données par la directive européenne du 19 juillet 2011 (11) et par l'AIEA (12).

L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement définit également le stockage des déchets radioactifs comme « *l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive […]* ». La directive européenne du 19 juillet 2011 définit le stockage comme « *le dépôt de combustible usé ou de déchets radioactifs dans une installation sans intention de retrait ultérieur* ». Elle rejoint la définition du stockage définitif donnée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), à savoir « *la mise en place de déchets radioactifs dans une installation ou un emplacement sans intention de les récupérer* » (12).

La notion de stockage se distingue donc de la notion d'entreposage par son caractère potentiellement définitif et par l'absence d'intention de récupérer les déchets dans le futur, au moment où ils sont stockés.

[4] Créée en 1957, l'AIEA a pour mission de promouvoir l'utilisation sûre des technologies nucléaires à des fins pacifiques. C'est une organisation des Nations unies qui regroupait, en janvier 2014, 161 États membres. Les activités de l'AIEA consistent notamment en la rédaction de textes, appelés « normes de sûreté » ou « *Safety Standards* », décrivant les principes et pratiques de sûreté ; les États membres peuvent utiliser ces textes comme base de leur réglementation nationale (Source ASN).

1.2.3.2 Le conditionnement des déchets radioactifs

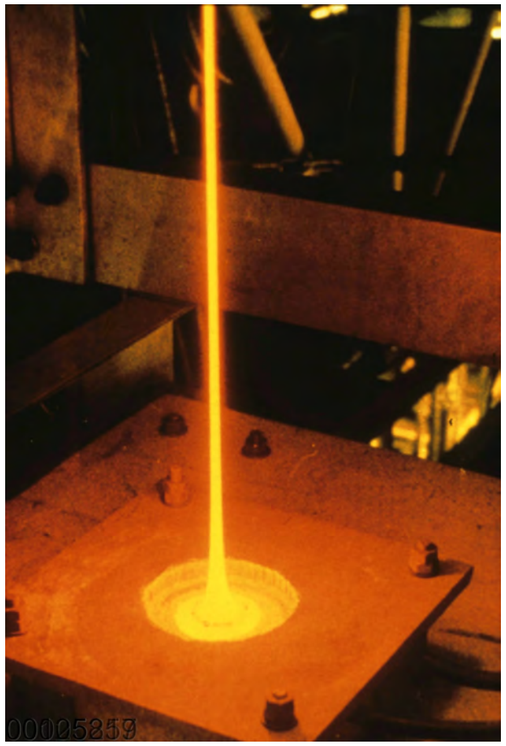


Figure 1-7 *Coulée de verre en fusion contenant des déchets radioactifs de haute activité (Source Orano)*

Le conditionnement représente l'ensemble des opérations consistant à introduire des déchets dans un conteneur[5], où ils sont incorporés, ou non, dans un matériau dit « d'enrobage » (cf. Figure 1-7). Les opérations de conditionnement comprennent par exemple le compactage, la vitrification, la cimentation, le bitumage, la mise en conteneur (cf. Figure 1-8). Elles permettent de constituer des « colis de déchets », dans lesquels les déchets radioactifs sont mis sous une forme convenant à leur transport, leur entreposage et leur stockage.

[5] Une étape de préparation des déchets peut éventuellement précéder la mise en conteneur (préconditionnement).



Figure 1-8 *Exemples de colis de déchets radioactifs – déchets radioactifs de haute activité (HA) vitrifiés à gauche et déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue (MA-VL) cimentés à droite*

La mise en stockage des colis de déchets ajoute à cette approche le confinement des déchets radioactifs sur de grandes échelles de temps, adaptées à leurs caractéristiques physico-chimiques.

1.2.3.3 La classification française des déchets radioactifs et les filières de gestion en France

Il n'existe pas de critère unique permettant de déterminer la nocivité d'un déchet radioactif et la gestion qui lui est appropriée. Pour cela, il est nécessaire d'étudier non seulement la radioactivité des différents radionucléides qu'il contient, mais aussi de prendre en compte sa nature physico-chimique et son éventuelle toxicité chimique. Divers autres facteurs, comprenant notamment l'exposition professionnelle induite, la sûreté à long terme et les aspects socio-économiques, doivent aussi être pris en compte.

Une fois qu'une filière de gestion a été retenue pour un déchet, un ensemble d'opérations adaptées à ses spécificités est mis en œuvre en vue d'assurer sa mise en sécurité définitive conformément aux exigences de l'article L. 542-1 du code de l'environnement. Parmi ces opérations, on peut citer le regroupement, le contrôle, le traitement, le conditionnement, l'entreposage, le transport et le stockage.

Pour identifier la gestion appropriée aux différents déchets radioactifs en fonction de leurs spécificités, la France s'est munie d'une classification (13) qui repose principalement sur le niveau de radioactivité et sur la durée de la période radioactive (cf. Figure 1-9 et chapitre 1.1 du présent volume I) :

- quatre niveaux de radioactivité des déchets radioactifs ont été définis : la très faible activité (TFA), la faible activité (FA), la moyenne activité (MA) et la haute activité (HA) ;
- trois durées de période radioactive ont été retenues : les déchets à vie très courte de période inférieure à 100 jours, les déchets à vie courte de période inférieure à 31 ans et les déchets à vie longue de période supérieure à 31 ans.

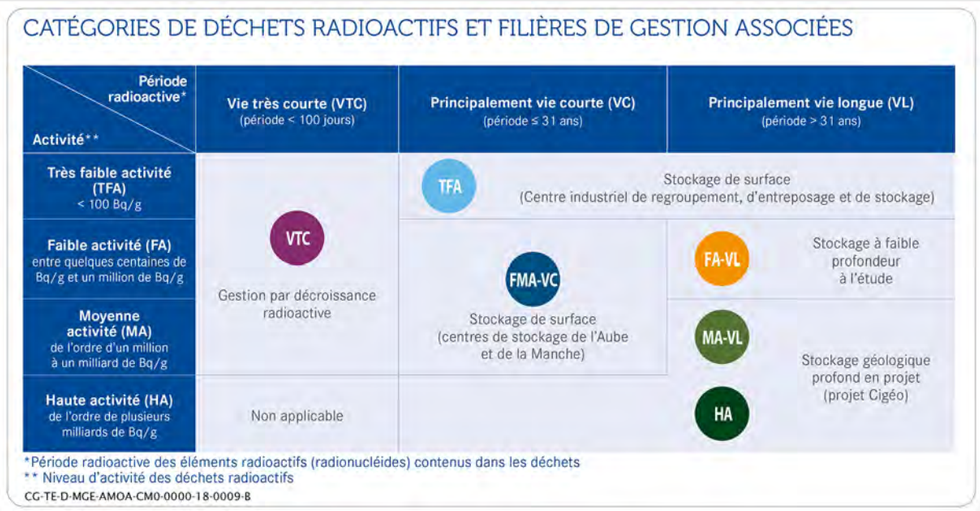


Figure 1-9 *Filières de gestion développées pour les différentes catégories de déchets radioactifs (9)*

Cette classification pose les principes d'orientation d'une catégorie de déchets vers une filière de gestion. Toutefois, un déchet peut très bien relever d'une catégorie de la classification de par ses caractéristiques radiologiques et ne pas être accepté dans la filière correspondante du fait de ses autres caractéristiques : la catégorie du déchet n'est pas obligatoirement assimilable à sa filière de gestion.

Le stockage de déchets radioactifs est une pratique commune dans le monde pour la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs. Parmi les nombreux centres de stockage actuellement en cours d'exploitation dans le monde, on peut citer à titre illustratif les centres d'El Cabril en Espagne, de Forsmark en Suède, de Rokkasho au Japon, de Vaalputs en Afrique du Sud ou d'Andrews dans l'état du Texas.

La France possède trois centres de stockage de déchets radioactifs sous la responsabilité de l'Andra (cf. Tableau 1-1) :

- deux centres situés dans le département de l'Aube, actuellement exploités, qui permettent de stocker en surface les déchets TFA et FMA-VC (cf. Figure 1-10 et figure 1-12) ;
- le centre de stockage de la Manche, exploité de 1969 à 1994, qui permettait également de stocker en surface les déchets TFA et FMA-VC et qui est actuellement en phase de fermeture (cf. Figure 1-11).

Tableau 1-1 *Centres de stockage de déchets radioactifs existants en France*

Déchets radioactifs de très faible activité (TFA)	 *Figure 1-10* *Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) dans l'Aube - en exploitation*
Déchets radioactifs de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)	 *Figure 1-11* *Centre de stockage de la Manche (CSM) – centre exploité de 1969 à 1994 – en phase de démantèlement et de fermeture*  *Figure 1-12* *Centre de stockage de l'Aube (CSA) – en exploitation*

Les centres de stockage français sont adaptés aux déchets de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) qui constituent plus de 90 % du volume de déchets radioactifs produits chaque année en France.

À ce jour, la France ne dispose pas de centre de stockage pour les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) et pour les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL). Pour compléter le système industriel existant, l'Andra est chargée d'étudier la conception de centres de stockage adaptés à leur prise en charge. Le projet de centre de stockage Cigéo constitue le projet français de centre de stockage des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL).

En l'absence d'un centre de stockage disponible pour leur mise en sécurité définitive, les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) produits par les activités nucléaires françaises sont actuellement entreposés dans des installations d'Orano, du CEA et d'EDF, la plus grande part se trouvant actuellement sur le site Orano de La Hague (Manche) et sur les centres CEA de Marcoule (Gard) et de Cadarache (Bouches-du-Rhône) (cf. Chapitres 1.3.4 du présent volume).

Selon l'Inventaire national, au total, les volumes de déchets entreposés, à fin 2020, sont de 4 160 m³ de déchets HA et de 41 780 m³ de déchets MA-VL (cf. Chapitre 1.3 du présent volume). Si l'on considère les volumes qui seront encore générés par les installations nucléaires existantes au terme prévisible de leur exploitation et de leur démantèlement, les déchets déjà produits représentent environ 40 % des déchets HA et 60 % des déchets MA-VL totaux (9).

1.2.4 Les volumes, activités et répartitions des différentes catégories de déchets par niveaux d'activité

Compte tenu des filières de gestion retenues, les déchets sont regroupés en six grandes catégories (cf. Figure 1-9 en page 14) :

- les déchets à vie très courte (VTC). Leur niveau d'activité varie très rapidement par décroissance radioactive ;
- les déchets de très faible activité (TFA), déchets issus du fonctionnement, de la maintenance et du démantèlement des installations nucléaires (béton, gravats, ferrailles, terres…). Leur niveau d'activité est généralement inférieur à cent becquerels par gramme ;
- les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC), déchets issus du fonctionnement, de la maintenance et du démantèlement des installations nucléaires (gants, vêtements, outils, fibres, boues…). Leur niveau d'activité se situe entre quelques centaines, jusqu'à environ un million de becquerels par gramme ;
- les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), déchets de graphites issus des premières centrales nucléaires, déchets radifères (provenant par exemple de l'extraction de terres rares…). Leur activité est variable en fonction de leur nature (déchets de graphite, déchets radifères…). Elle peut atteindre jusqu'à environ cent mille becquerels par gramme ;
- les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL), déchets de structures métalliques entourant les combustibles usés, déchets technologiques liés à la maintenance des installations nucléaires. Leur activité est de l'ordre d'un million à un milliard de becquerel par gramme ;
- les déchets de haute activité, déchets issus principalement du retraitement des combustibles usés. Leur niveau d'activité est de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme.

La figure 1-13 illustre la répartition en volumes et en niveaux de radioactivité des déchets HA, MA-VL, FA-VL, FMA-VC et TFA déjà stockés en France ou destinés à être pris en charge par l'Andra, selon Les essentiels 2022 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs (sur la base des stocks de déchets à fin 2020) (9). La répartition des volumes et des niveaux de radioactivité des déchets montre que la plus grande part des déchets, environ 90 % du volume, est de très faible activité ou de faible activité à vie courte (environ 0,3 % de l'activité totale). En revanche, une part très minoritaire, représentant environ 0,2 % du volume total, concentre à elle seule près de 95 % de la radioactivité totale. En lien direct avec l'approche de « concentration et de confinement », ces déchets de haute activité ont été concentrés pour réduire le volume des déchets à gérer. Ils sont vitrifiés pour confiner les substances radioactives en les bloquant au cœur du matériau vitreux.

Les déchets à vie très courte (VTC), principalement issus des activités médicales et dont la radioactivité disparaît en quelques dizaines de jours et au maximum sur quelques années, ne sont pas pris en charge par l'Andra. Leur volume, environ 2 000 m³, est stable (9). Après entreposage de décroissance, ils sont éliminés dans des filières conventionnelles adaptées à leurs caractéristiques.

Des précisions sur la nature des différentes catégories de déchets sont présentées dans le volume 3 de la « Pièce 7 – Version préliminaire du rapport de sûreté » de la demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo (14).

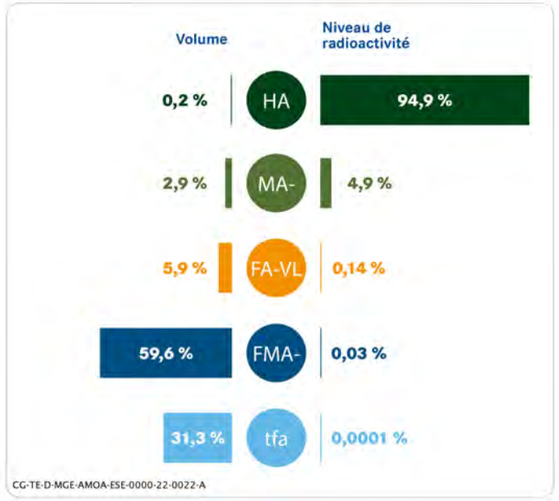


Figure 1-13 Répartition des déchets radioactifs en France à fin 2020 (9)

Selon l'Inventaire national, il existe, à fin 2020, 4 160 m³ de déchets HA et 41 780 m³ de déchets MA-VL français entreposés en France en attente d'une filière durable de gestion (9). Si l'on considère les volumes qui seront encore générés par les installations nucléaires existantes, cela représente environ 40 % des déchets HA et 60 % des déchets MA-VL totaux prévisibles.

Synthèse – Les déchets radioactifs

Les déchets radioactifs sont des substances qui contiennent des éléments radioactifs et émettent des rayonnements qui leur confèrent une dangerosité spécifique en fonction de leur nature et de leur niveau de radioactivité.

La classification française des filières de gestion des déchets radioactifs repose sur deux paramètres permettant de définir le mode de gestion approprié : le niveau de radioactivité et la période radioactive des éléments.

Des filières de gestion durable ont été développées pour la mise en sécurité définitive des déchets de très faible activité (TFA) et pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC). Environ 90 % des colis de déchets produits peuvent être ainsi stockés dans les centres exploités par l'Andra.

Afin de compléter le système global de gestion durable des déchets radioactifs, l'Andra mène des études pour concevoir des solutions techniques permettant, à terme, une mise en sécurité définitive :

- des déchets radioactifs de faible activité à vie longue (FA-VL) ;
- des déchets radioactifs de haute activité (HA) et des déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue (MA-VL) ; c'est l'objet du projet global Cigéo.

Selon l'Inventaire national, il existe, à fin 2020, 4 160 m³ de déchets HA et 41 780 m³ de déchets MA-VL français entreposés en France en attente d'une filière durable de gestion (9). Si l'on considère les volumes qui seront encore générés par les installations nucléaires existantes, cela représente environ 40 % des déchets HA et 60 % des déchets MA-VL totaux prévisibles.

1.3 Les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

Comme présenté ci-après, la radioactivité et la durée de vie des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) ne permettent pas de les stocker de manière sûre en surface ou à faible profondeur sur le très long terme.

Pour ces déchets, aujourd'hui entreposés en surface, il est donc nécessaire de trouver une solution de gestion durable sur le très long terme ; c'est l'objet du projet global Cigéo.

1.3.1 La présentation des déchets HA et MA-VL

1.3.1.1 Les déchets de haute activité (HA)

Les déchets HA sont essentiellement des résidus extraits des combustibles nucléaires usés lors de leur retraitement (produits de fission et actinides mineurs), qui ont été vitrifiés. Au sein des colis de déchets de haute activité, on distingue les colis de déchets dans lesquels le dégagement de chaleur est modéré et les colis de déchets dans lesquels le dégagement de chaleur est plus important.

Les déchets HA présentent un niveau de radioactivité de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme. Ils sont très radioactifs car ils contiennent des produits de fission et des actinides mineurs formés dans le combustible nucléaire lors de son passage dans le cœur du réacteur nucléaire. Ce sont pour la plupart les résidus non recyclables de la « combustion nucléaire ». Lors du retraitement du combustible nucléaire, ces radionucléides sont séparés du reste du combustible irradié, c'est-à-dire de l'uranium et du plutonium qui constituent sa part valorisable. Dans les déchets HA, il reste quelques traces non séparées d'uranium et de plutonium.

Les déchets HA séparés lors du retraitement sont conditionnés sous forme vitrifiée. Pour cette vitrification, les déchets HA sont d'abord « calcinés » (pour former des oxydes de produits de fission et actinides). Ensuite, les calcinats sont mélangés avec de la fritte de verre et des adjuvants et chauffés à plus de 1 000 °C dans un creuset de vitrification. Le déchet vitrifié chaud est ensuite coulé dans un conteneur en acier inoxydable. Son couvercle en acier inoxydable est soudé.

La vitrification des déchets HA dans les ateliers de vitrification de Marcoule et de La Hague a permis d'améliorer considérablement la sûreté de leur entreposage, en comparaison de la situation antérieure où l'entreposage des déchets HA s'effectuait sous forme liquide, dans des cuves.

Au terme de la vitrification, les déchets initiaux (produits de fission, actinides mineurs et produits d'activation) présents dans un colis de déchets HA représentent environ neuf kilogrammes, soit de l'ordre de 2 % de la masse du colis. Au total, les colis de déchets HA ne représentent que 0,2 % du volume total des colis de déchets radioactifs existants, mais contiennent près de 95 % de leur radioactivité totale.

La grande concentration de la radioactivité dans les déchets HA se traduit par un dégagement thermique élevé, dont une part importante est due à leur teneur en césium 137 (^{137}Cs) et en strontium 90 (^{90}Sr). Ce dégagement thermique décroît d'environ 50 % tous les 30 ans en lien avec la décroissance radioactive de ces radionucléides.

1.3.1.2 Les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

Les déchets MA-VL sont principalement des résidus issus des combustibles nucléaires irradiés après retraitement, des composants ayant séjourné dans des réacteurs nucléaires et de déchets technologiques issus du fonctionnement et de la maintenance des installations nucléaires (centrales nucléaires, laboratoires de recherche, réacteurs expérimentaux, installations liées à la Défense nationale) et du démantèlement de ces différentes installations. Ils se composent 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 (déchets technologiques, résidus des procédés…) et de leur démantèlement ;
- de résidus des effluents d'exploitation des installations nucléaires.

Les déchets MA-VL présentent un niveau de radioactivité de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme. Ils contiennent, comme les déchets HA, des quantités importantes de radionucléides à période longue.

Les modes de conditionnement des déchets MA-VL sont très variables et adaptés à leurs natures variées. Les principales sont le compactage, le bitumage et la cimentation.

Les déchets MA-VL représentent un peu moins de 3 % du volume total des déchets radioactifs et contiennent près de 5 % de leur radioactivité totale (cf. Figure 1-13) (9).

1.3.2 La gestion actuelle des déchets HA et MA-VL en France

Les déchets HA et MA-VL déjà produits sont actuellement entreposés dans des bâtiments dédiés des installations nucléaires d'EDF, d'Orano et du CEA[6].

L'entreposage des colis de déchets HA et MA-VL s'effectue « à sec ». L'entreposage « sous eau », souvent dénommé entreposage en « piscine », est parfois utilisé pour certains déchets MA-VL en attente de conditionnement[7]. Cela ne constitue néanmoins qu'une pratique marginale en termes de volumes de déchets concernés.

Les protections apportées par les installations d'entreposage de colis de déchets à sec (cf. Figure 1-14 et figure 1-15) sont de plusieurs natures :

- des parois épaisses autour des colis pour empêcher le rayonnement d'atteindre les opérateurs et *a fortiori* le public ;
- des barrières de confinement s'opposant à la dispersion de particules radioactives dans les installations elles-mêmes et dans l'environnement. La première de ces barrières est généralement constituée par le conditionnement du déchet lui-même (conteneur et matrice). Les autres reposent sur les parois du bâtiment et sur son système de ventilation. Les barrières font l'objet d'une surveillance ;
- un contrôle d'accès interdisant à toute personne non avertie de s'approcher des déchets ;
- une résistance des installations d'entreposage aux perturbations naturelles (séismes, phénomènes climatiques, conditions atmosphériques…) et humaines (défaillances, accidents, malveillance…), ainsi qu'aux perturbations apportées par les déchets eux-mêmes (principalement la chaleur dégagée par les déchets HA).

[6] L'entreposage de déchets radioactifs est défini par le code de l'environnement (article L. 542-1-1) 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 »* (cf. Chapitre 1.2.3 du présent volume de l'étude d'impact).

[7] Les piscines d'entreposage de combustibles usés en attente d'évacuation ou de traitement, notamment celles situées sur les sites des centrales EDF, peuvent accueillir certains déchets MA-VL particuliers non encore conditionnés.



Figure 1-14 *Hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7 UP2 800 d'Orano à La Hague © Orano*

S'agissant de bâtiments constitués de béton (cf. Figure 1-16) et d'acier et comportant des équipements mécaniques et électriques, les installations d'entreposage ont une durabilité limitée. Le vieillissement et l'obsolescence la restreignent en général à une cinquantaine d'années. Divers entreposages, construits dans les années 1960 ou 1970, sont ainsi en cours de reprise aujourd'hui. Les colis de déchets en sont retirés et ils sont transférés, parfois après modification de leur conditionnement initial[8], vers des installations d'entreposage plus modernes. Pour ces nouvelles installations d'entreposage, une durabilité plus importante est envisagée. Plusieurs dizaines d'années de plus sont visées par leur conception (plusieurs dizaines d'années au-delà de 50 ans).

Des projets de nouveaux entreposages sont développés par les producteurs sur leurs sites. En effet, les capacités d'entreposage actuellement disponibles sur ces sites ne permettront pas de gérer l'ensemble des déchets dont la production régulière est prévue ou ceux qui devront être retirés des installations les plus anciennes. Les besoins en entreposage sont évalués périodiquement et suivis par l'État et les parties prenantes dans le cadre du Plan national pour la gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) (15). Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN constate « *que les dates de saturation des entreposages existants et les besoins futurs en entreposage pour les 20 prochaines années ont été globalement bien identifiés par les producteurs. Toutefois, les estimations des capacités d'entreposage doivent être consolidées par l'ensemble des producteurs en intégrant des marges pour faire face à d'éventuels aléas sur les filières de gestion des déchets concernés, et ainsi être en mesure d'anticiper les besoins de capacités d'entreposage complémentaires et les procédures d'autorisation correspondantes.* »

Tous les déchets passent, sous une forme ou une autre, par une phase d'entreposage, parfois longue. La gestion des déchets radioactifs actuelle prévoit un système combinant un entreposage puis un stockage définitif. Ce stockage définitif est l'objet du projet global Cigéo.

Le besoin d'installations d'entreposage perdure jusqu'à l'échéance de la mise en sécurité définitive des déchets HA et MA-VL, c'est-à-dire jusqu'à la fermeture complète du stockage définitif (cf. Chapitres 4.1.4, 4.3.3 et 2.7.4 du présent volume).

[8] Le reconditionnement des colis de déchets conduit généralement à augmenter leur volume.

LE PLAN NATIONAL DE GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) a été institué par la loi du 28 juin 2006 (17).

Il « dresse le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets radioactifs et des solutions techniques retenues, recense les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage et précise les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage. »

Il fixe les objectifs généraux à atteindre, les principales échéances et les calendriers permettant de respecter ces échéances en tenant compte des priorités qu'il définit. Il détermine les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif.

Il organise la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et déchets radioactifs.

Il détermine les personnes responsables de sa mise en œuvre ainsi que les indicateurs permettant de surveiller l'avancement de sa mise en œuvre.

Il comporte une estimation des coûts de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs, assortie d'un calendrier et mentionnant les hypothèses selon lesquelles cette estimation a été établie. Il précise les mécanismes de financement en vigueur. »

Le code de l'environnement (article L. 542-1-2 II) a fixé trois grandes orientations que le PNGMDR et son décret d'application, qui en établit les prescriptions, doivent respecter :

- la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs est recherchée notamment par le retraitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs ;
- les matières radioactives en attente de traitement et les déchets radioactifs ultimes en attente d'un stockage sont entreposés dans des installations spécialement aménagées à cet usage ;
- après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant, pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection, être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde.

Les analyses prospectives, sur lesquelles le plan s'appuie, sont élaborées dans le cadre de la politique énergétique. Le PNGMDR a été publié pour la première fois en 2007 (18), puis a fait l'objet de trois nouvelles éditions en 2010 (19), en 2013 (20), en 2016 (15) et la dernière a été élaborée en 2022 conformément aux dispositions de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, qui prévoit une mise à jour quinquennale du plan.

Ce document est désormais porté par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) pour le ministère de la Transition écologique.

Dans le cadre de l'élaboration de la cinquième édition du PNGMDR, un débat public a été organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP) du 17 avril au 24 septembre 2019 (21) (cf. Chapitre 2.6.2 du présent volume). Suite à ce débat public, le projet de PNGMDR a été élaboré et a fait l'objet d'une consultation publique (22), d'un avis de l'Autorité environnementale (23) ainsi que d'un avis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (16). Dans ses grandes orientations, la cinquième édition du PNGMDR prévoit notamment la poursuite des travaux engagés sur la filière de gestion des déchets HA et MA-VL.

Le PNGMDR 2022-2026 fait l'objet du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par 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 (24) et de l'arrêté du 9 décembre 2022 pris en application du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par 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 (25).



Figure 1-15 Exemple d'installation d'entreposage de déchets MA-VL : installation STE3 du site Orano de La Hague (photo prise à travers un hublot de protection) © Orano

La mise en œuvre des meilleures technologies disponibles en matière de génie civil et de matériaux, l'utilisation du retour d'expérience et les progrès issus des études et des recherches menées sur l'entreposage, notamment celles réalisées dans le cadre de la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 (17), ouvrent la perspective de conférer une durée de fonctionnement de l'ordre du siècle aux nouvelles installations industrielles d'entreposage[9]. Pour atteindre cette performance, certaines options techniques sont à retenir lors de leur construction (choix des matériaux, épaisseurs d'enrobage des armatures des bétons de structure, conditions thermiques et hydriques à l'intérieur de l'entreposage).

Quelle que soit la durabilité des installations d'entreposage, au terme d'une certaine durée de fonctionnement, même séculaire, les colis de déchets doivent en être retirés et être transférés dans d'autres installations pour assurer à nouveau une protection efficace de l'Homme et de l'environnement.

1.3.3 La dangerosité des déchets HA et MA-VL

1.3.3.1 La dangerosité des déchets HA et MA-VL et les échelles de temps associées

Les déchets HA et MA-VL concentrent plus de 99 % de la radioactivité de l'ensemble des déchets radioactifs dans un volume ne représentant qu'un peu plus de 3 % du volume total (cf. Figure 1-13).

Leur niveau de radioactivité leur confère une forte dangerosité radiologique. Un individu qui se placerait au voisinage immédiat de déchets HA, sans protection, aurait une espérance de vie de quelques minutes du fait de l'intensité de leur rayonnement.

En raison de leurs natures et leurs concentrations nettement plus faibles en radionucléides, les déchets MA-VL sont en général moins irradiants, mais ils restent dangereux. Cela s'illustre bien par l'exemple des colis standards de déchets compactés (CSD-C) produits sur le site d'Orano La Hague. Ces déchets contiennent des structures métalliques issues du traitement des assemblages combustibles (coques issues du cisaillage des gaines et embouts des assemblages cisaillés). Ils figurent parmi les déchets radioactifs MA-VL les plus irradiants. Si une personne était exposée directement au rayonnement émis par un de ces colis de déchets, sans protection, l'irradiation serait environ cent fois moindre qu'en présence d'un colis de déchets HA. Elle provoquerait néanmoins rapidement des lésions et pourrait être létale en cas d'exposition prolongée.

Les déchets HA et MA-VL sont également dangereux dans le cas où des personnes inhaleraient les poussières qui seraient émises à proximité des colis si un accident entraînait une perte de confinement du colis. Une ingestion ou une inhalation de particules de déchets HA et MA-VL pourrait entraîner une contamination interne et une irradiation de l'organisme potentiellement très grave pour la santé. La concentration élevée des actinides dans les déchets HA et MA-VL[10] les rend en effet particulièrement dangereux en cas d'exposition interne. En effet, les actinides, qui sont des émetteurs de particules alpha, ont en cas d'ingestion ou d'inhalation des effets sanitaires potentiellement très graves. Le conditionnement des déchets et notamment leur vitrification a pour effet notable de limiter très fortement l'émission de particules et de poussières (aérosols) en cas d'accident.

En cas de dispersion dans l'environnement, l'ingestion ou l'inhalation de particules ou de poussières émises par les déchets radioactifs HA et MA-VL comporte donc des risques importants. Les phénomènes de dispersion, de dilution, de déposition, d'intégration partielle dans la chaîne alimentaire et de métabolisation tendent toutefois à réduire les risques d'exposition aigüe. Les mécanismes d'estimation des conséquences radiologiques font alors appel à des modèles spécifiques en fonction des voies d'exposition (cf. Volume VI de la présente étude d'impact).

Même si la radioactivité des déchets HA et MA-VL décroit, les échelles de temps associées à leur dangerosité sont très longues. Ce n'est qu'au bout de plusieurs centaines de milliers d'années qu'une grande majorité des radionucléides contenus dans les déchets présentent un impact faible pour l'Homme et l'environnement.

LA DÉCROISSANCE RADIOACTIVE DES RADIONUCLEIDES DES DECHETS HA ET MA-VL

Les atomes radioactifs (ou radionucléides) sont instables. Ils sont ainsi amenés à se désintégrer et à donner naissance à d'autres atomes, eux-mêmes radioactifs, ou non. C'est la décroissance radioactive.

Les radionucléides sont ainsi caractérisés par la nature du rayonnement qu'ils émettent (plus ou moins énergétique) et par leur période radioactive (ou demi-vie), c'est-à-dire la durée qui est nécessaire pour que la moitié d'une quantité de ce radionucléide se soit désintégrée.

De nombreux radionucléides sont présents dans les colis de déchets HA et MA-VL. Dans les études de sûreté à long terme, on s'intéresse tout particulièrement à 3 d'entre eux (le sélénium 79, l'iode 129 et le chlore 36) car il s'agit des seuls radionucléides susceptibles de migrer et d'atteindre, à l'échelle de plusieurs centaines de milliers d'années, les formations géologiques sus et sous-jacente.

Ces radionucléides ont une période radioactive très longue :

- 302 000 ans pour le chlore 36 ;
- 280 000 ans pour le sélénium 79 ;
- 15 700 000 ans pour l'iode 129.

1.3.3.2 La spécificité des déchets HA – La production de chaleur

Les études et recherches effectuées en France et dans les autres pays pour la gestion durable des déchets HA et MA-VL tiennent compte de la nature et des propriétés de ces déchets.

Outre un rayonnement externe très important, les colis de déchets HA produisent de la chaleur. En effet, ils contiennent des radionucléides (^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{241}Am, ^{244}Cm…) dégageant une quantité significative d'énergie thermique en lien avec leurs désintégrations radioactives.

Au moment de leur production, les colis de déchets HA produisent une quantité de chaleur très importante, de l'ordre de plusieurs milliers de Watt par colis. Cette chaleur est une contrainte de conception importante des installations qui les accueillent.

[9] Les études et recherches sur l'entreposage sont conduites en vue de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier les installations existantes, pour répondre aux besoins, notamment en termes de capacité et de durée, recensés par le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. L'Andra a publié en 2013 un « bilan des études et recherches sur l'entreposage des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue » (26).

[10] À titre d'exemple de teneur en actinide mineur dans les déchets, l'américium 241 (^{241}Am) est présent à raison d'environ 10^{14} becquerels par colis de déchets vitrifiés et d'environ 10^{11} becquerels par colis MA-VL de déchets compactés de type CSD-C.

La décroissance radioactive des radionucléides entraîne une diminution forte de cette chaleur sur une durée de l'ordre du siècle, réduisant progressivement les contraintes de conception des installations. Ensuite, la décroissance de la chaleur est plus lente. Ce n'est qu'au-delà du millénaire qu'intervient une nouvelle réduction significative du dégagement de chaleur.

Ainsi, les propriétés des colis de déchets HA, importantes pour les installations qui les accueillent, peuvent se concevoir en deux périodes :

- une première période allant au plus jusqu'à une centaine d'années, caractérisée par une forte dissipation de chaleur, pour laquelle les installations d'entreposage en surface sont particulièrement adaptées (cf. Figure 1-16). En effet, des dispositions classiques de ventilation (ventilation forcée au moyen de ventilateurs ou ventilation naturelle par tirage dans des cheminées) permettent de les refroidir efficacement en utilisant de l'air frais ;
- une seconde période, où les caractéristiques thermiques de ces déchets évoluent peu à l'échelle humaine.

En pratique, pour les colis de déchets HA français, le passage entre ces deux périodes intervient progressivement pendant la durée prévue de leur entreposage. Les colis de déchets HA existants ou à produire passent dans la seconde période avant les années 2150.

Il existe néanmoins certains colis de déchets de HA, dénommés « HA0 » (par opposition aux « HA1 » et « HA2 » plus thermiques), qui produisent moins de chaleur et pour lesquels une telle approche n'est pas justifiée.

Les déchets MA-VL n'évoluent pas non plus significativement en termes de caractéristiques thermiques ou radiologiques dans les entreposages sur une durée séculaire. En matière de gestion des déchets, il n'y a pas de gain substantiel à attendre qui justifierait, sur le plan technique, leur maintien en entreposage sur des durées prolongées.

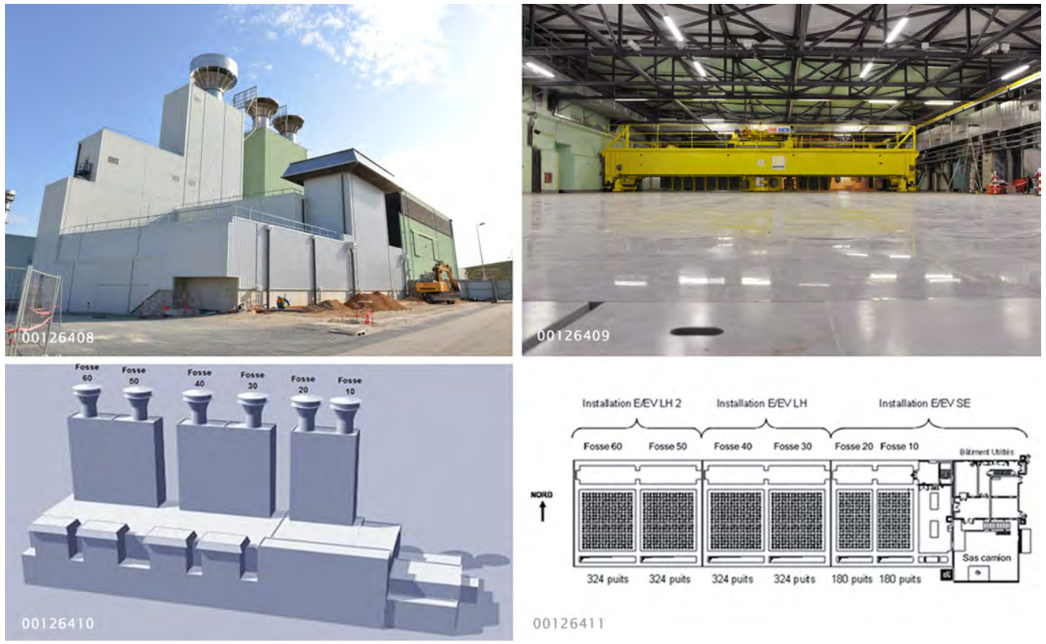


Figure 1-16 Exemple d'installation d'entreposage de déchets HA : installation E-EV-SE du site Orano de La Hague (Source : Orano)

1.3.3.3 Une dangerosité nécessitant une gestion sur le très long terme

La dangerosité des déchets HA et MA-VL nécessite de mettre en place, aux différentes étapes de leur gestion, des dispositifs appropriés à la protection de l'Homme et l'environnement.

Notamment, sur les sites de production, ces déchets sont conditionnés (cf. Chapitre 1.2.3.1 du présent volume et figure 1-8). Leur conditionnement permet ensuite de constituer des « colis de déchets », dans lesquels les déchets radioactifs sont mis sous une forme convenant à leur transport, leur entreposage et leur stockage.

Des dispositifs appropriés à la protection de l'Homme et l'environnement sont également mis en œuvre dans les installations d'entreposage en surface existantes, au sein desquelles les déchets HA et MA-VL déjà produits sont actuellement conservés à titre temporaire (cf. Chapitre 1.3.2 du présent volume). Malgré cette dangerosité intrinsèque des déchets radioactifs, les installations actuelles de gestion des colis de déchets HA et MA-VL, grâce à leur conception très robuste et au regard de leur unique objectif de mise en sécurité de ces déchets, génèrent peu d'exposition du public et de l'environnement en situations normales et dégradées.

Cette étape d'entreposage des déchets HA et MA-VL dans des installations de surface ou sub-surface ne présente pas un caractère pérenne sur le très long terme considérant d'une part, la très longue durée pendant laquelle leur dangerosité perdure (cf. Chapitre 1.3.3.1 du présent volume) et d'autre part, la durée de vie limitée des dites installations d'entreposage, lesquelles nécessitent d'être renouvelées périodiquement pour maintenir leur niveau de sûreté (cf. Chapitre 1.3.2 du présent volume).

Les déchets HA et MA-VL pour lesquels le centre de stockage Cigéo est conçu ne peuvent donc pas être conservés en surface ou à proximité de la surface de façon pérenne et passive (c'est-à-dire sans qu'il soit nécessaire d'intervenir), compte tenu de leur forte dangerosité et de la très longue durée pendant laquelle cette dangerosité perdure.

Cigéo est un projet de centre de stockage en couche géologique profonde, conçu pour protéger durablement l'homme et l'environnement des risques générés par ce type de déchets radioactifs. Il répond à l'objectif d'une gestion durable des déchets les plus dangereux telle que définie dans le code de l'environnement (cf. Article L. 542-1 du code de l'environnement). Il répond plus particulièrement à un double objectif :

- éviter progressivement de mobiliser les générations futures pour gérer ces déchets, grâce au caractère passif des dispositions de protection ;
- protéger durablement l'homme et l'environnement, en isolant les déchets radioactifs à haute activité et à vie longue et en limitant les transferts des radionucléides vers la surface.

Par ailleurs, la mise en stockage des colis de déchets ajoute, au conditionnement de ces derniers, la possibilité d'un confinement passif des déchets radioactifs sur de grandes échelles de temps, adaptées à leurs caractéristiques physico-chimiques.

1.3.4 Les volumes de déchets radioactifs HA et MA-VL à gérer

1.3.4.1 Les notions d'inventaire de référence et d'inventaire de réserve

L'article D. 542-90 du code de l'environnement précise que « *l'inventaire à retenir par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs pour les études et recherches conduites en vue de concevoir le centre de stockage prévu à l'article L. 542-10-1 comprend un inventaire de référence et un inventaire de réserve. L'inventaire de réserve prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique. Le centre de stockage est conçu pour accueillir les déchets de l'inventaire de référence* ». Le code de l'environnement précise en outre que « *s'ils ne figurent pas dans l'inventaire de référence, les combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires, des réacteurs expérimentaux et de la propulsion nucléaire navale sont intégrés dans l'inventaire de réserve* » (article D. 542-91 du code de l'environnement).

Aussi, conformément à ces exigences réglementaires, l'Andra conçoit le centre de stockage Cigéo :

- sur la base de l'inventaire de référence (cf. Chapitre 1.3.4.2 du présent volume) ;
- pour qu'il puisse évoluer, au fur et à mesure de sa construction, pour s'adapter à d'éventuelles évolutions en matière d'inventaire des déchets stockés, évolutions prises en compte dans l'inventaire de réserve (cf. Chapitre 1.3.4.3 du présent volume). Celles-ci pourraient être liées notamment aux stratégies industrielles ou aux orientations de la politique énergétique française (par exemple un allongement de la durée de vie des réacteurs nucléaires ou au contraire leur arrêt prématuré) ou à la réorientation vers le centre de stockage Cigéo, de déchets justifiant actuellement d'un autre mode de gestion, comme par exemple des déchets de faible activité à vie longue.

Les inventaires de référence et de réserve sont établis sur la base des scénarios de politique énergétique de l'édition 2018 de l'Inventaire national de l'Andra (27). Ces scénarios sont volontairement contrastés pour couvrir le champ des possibles des évolutions de stratégie des industriels et de la politique énergétique de la France au travers de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE).

Des marges sont prises pour couvrir les incertitudes sur le volume de déchets futurs à produire ou de déchets anciens devant faire l'objet d'opérations de reprise et conditionnement, sur les modalités de conditionnement et sur les caractéristiques de certains déchets.

LA PRISE EN COMPTE DES PRESCRIPTIONS DU PNGMDR DANS LA DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE DE L'INVENTAIRE NATIONAL (IN) DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS, BASE DE L'ÉLABORATION DE L'INVENTAIRE POUR LA CONCEPTION DU PROJET DE CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO

La « réduction des volumes à la source » ainsi que l'optimisation du choix des filières de gestion des déchets radioactifs sont des principes fondateurs de la gestion des déchets radioactifs en France.

À cet égard, la décision n° 2015-DC-0508 de l'ASN du 21 avril 2015 précise les règles applicables aux installations nucléaires de base pour la gestion des déchets qu'elles produisent (28). L'exploitant d'une INB doit notamment présenter et justifier les dispositions prises pour prévenir et réduire à la source la production et la nocivité des déchets ainsi que les moyens retenus pour réduire par un tri, un traitement et un conditionnement adaptés, la quantité et la dangerosité des déchets à gérer. L'exploitant doit présenter dans le bilan annuel une analyse des déchets produits dans l'installation au cours de l'année civile écoulée. Ce bilan vise à vérifier l'adéquation de la gestion des déchets avec les dispositions prévues par l'étude sur la gestion des déchets et à identifier les axes d'amélioration.

L'article L. 542-1 du code de l'environnement prévoit que les producteurs de déchets radioactifs, dans le cadre de la gestion de leurs déchets avant évacuation vers un exutoire définitif, doivent trier et définir les modes de traitement et de conditionnement des déchets, en fonction des technologies disponibles, dans l'objectif d'en réduire la quantité et la nocivité. À ce titre, les producteurs mettent en œuvre dans leurs installations des dispositions de tri à la source et mènent de nombreuses études relatives au traitement et au conditionnement des déchets. Compte tenu des coûts afférents à la gestion des déchets radioactifs, des mesures visant à réduire leur production à la source sont prises par tous les exploitants. Par ailleurs, les déchets HA et une grande partie des déchets MA-VL sont produits lors du retraitement du combustible nucléaire irradié, opération visant à en séparer l'uranium et le plutonium qui constituent sa part valorisable.

La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (17) dispose qu' « *après entreposage, les déchets radioactifs ultimes*[11] *ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou à faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde* ». Elle confie à l'Andra la responsabilité « *de concevoir, d'implanter, de réaliser et d'assurer la gestion (…) des centres de stockage de déchets radioactifs* ».

Les notions d'inventaires de référence et de réserve

Le code de l'environnement prévoit dans son article D. 542-90 que « *l'inventaire à retenir par l'Andra pour les études et recherches conduites en vue de concevoir le centre de stockage prévu à l'article L. 542-10-1 de ce même code comprend un inventaire de référence et un inventaire de réserve* :

- *l'inventaire de réserve prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique ;*
- *le centre de stockage est conçu pour accueillir les déchets de l'inventaire de référence.* »

Les inventaires de référence et de réserve retenus pour les études en phase de conception initiale du centre de stockage Cigéo se fondent sur les inventaires prospectifs de l'édition 2018 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs (IN) (27). Ces inventaires prospectifs sont évalués sur la base de scénarios contrastés d'évolution de la politique énergétique française à long terme répondant aux prescriptions de l'édition 2016 du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) (15) et prennent en compte les orientations de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2016-2023 (29) fixées dans le décret n° 2016-1442 du 27 octobre 2016 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie (30).

L'inventaire de référence correspond à la production des déchets issus du fonctionnement et du démantèlement des installations autorisées aujourd'hui dans un scénario de poursuite de la production électronucléaire avec une hypothèse de durée de fonctionnement des installations existantes de 50 ans, et de retraitement de la totalité des combustibles usés produits par ces installations dans le parc actuel et dans un parc futur. Cette hypothèse ne préjuge pas de la décision des autorités publiques d'autoriser ou non un allongement de la durée d'exploitation des réacteurs. Les déchets qui seront produits par l'exploitation des installations nucléaires en cours de construction sont également pris en compte (notamment l'EPR de Flamanville, le réacteur expérimental Jules Horowitz, l'installation de recherche ITER).

Conformément au 2e alinéa de l'article D. 542-90 du code de l'environnement susvisé et afin de tenir compte des incertitudes liées à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou d'évolutions de la politique énergétique sur la durée de fonctionnement du centre de stockage, l'Andra étudie les adaptations du centre de stockage Cigéo qui seraient nécessaires dans l'éventualité d'un changement de stratégie en matière de politique énergétique afin d'y stocker des déchets de l'inventaire de réserve. Les évolutions de politique énergétique envisageables sont :

- une modification de la durée de fonctionnement des installations nucléaires de base produisant une quantité supérieure de déchets par rapport à celle prise en compte pour la conception du centre de stockage Cigéo ;
- le déploiement de nouveaux parcs de réacteurs électronucléaires permettant ou non de recycler l'ensemble des matières produites par le parc actuel ;
- le choix de ne pas retraiter certains combustibles usés, impliquant ainsi leur requalification en déchets ;
- la décision d'arrêter globalement le retraitement-recyclage des combustibles usés par exemple en cas de décision de ne pas renouveler la production électronucléaire se traduisant par une requalification de tout ou partie des matières impliquées en déchets.

[11] L'article L. 542-1-1 du code de l'environnement qualifie de déchets radioactifs ultimes les déchets radioactifs « qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux ».

Ainsi ces incertitudes d'évolution sont prises en compte dans l'inventaire de réserve *via* deux scénarios :

- l'intégration dans l'inventaire de réserve de déchets qui résulteraient d'un allongement de la durée de fonctionnement d'environ dix ans des réacteurs électronucléaires existants par rapport à celle de 50 ans prise en compte pour établir l'inventaire de référence ;
- l'intégration dans l'inventaire de réserve de la totalité des combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires qui n'auraient pas fait l'objet, selon le calendrier d'arrêt des réacteurs découlant des scénarios de l'Inventaire national[12], d'un retraitement dans les installations actuelles prévues à cet effet, des réacteurs expérimentaux et les combustibles usés de la propulsion nucléaire navale.

Une autre incertitude concerne la mise en place d'une installation de stockage capable de prendre en charge tout ou partie des déchets aujourd'hui affectés au stockage de déchets de faible activité à vie longue (FA-VL). À ce titre, l'inventaire de réserve retenu pour le centre de stockage de Cigéo comprend les déchets FA-VL suivants : les chemises et empilements de graphite, les déchets dits « UNGG de La Hague », certaines familles de colis de déchets bitumés (relevant de la catégorie FA-VL) et les déchets de petits producteurs (sources, paratonnerres et déchets de la Défense nationale). L'Andra joint à son dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo des résultats des études préliminaires de prise en compte de l'inventaire de réserve afin de vérifier que la conception du centre de stockage retenue pour l'inventaire de référence n'est pas rédhibitoire à un éventuel changement de décision. Les résultats de ces études préliminaires seront synthétisés en particulier dans la « Pièce 8 - Étude de maitrise des risques[13] » du dossier support à la demande de création de l'INB (2).

Les mises à jour périodiques du « Plan directeur de l'exploitation » (31), en concertation avec les parties prenantes et le public, permettent d'adapter le déroulement de référence du projet aux éventuelles évolutions du besoin. Si, au cours de l'exploitation du centre de stockage Cigéo, une décision était prise d'y stocker des déchets de l'inventaire de réserve, un dossier de demande d'autorisation spécifique serait déposé par l'Andra, sur la base en particulier des résultats de la conception détaillée du stockage faisant l'objet de la demande et la démonstration de sûreté associée ainsi que des résultats de l'étude d'impact environnementale.

En matière de gestion globale des déchets, la récupérabilité (c'est-à-dire la capacité à retirer des colis de déchets stockés dans le centre de stockage Cigéo) permettrait aux générations futures de retirer tout ou partie des colis de déchets stockés dans le centre de stockage Cigéo, jusqu'à sa fermeture définitive, si une utilisation ou une autre voie de gestion, encore non-envisagée à ce jour, venait à émerger dans le futur et à se matérialiser en une filière industrielle de gestion.

1.3.4.2 L'inventaire de référence retenu pour la conception du centre de stockage Cigéo

La conception du centre de stockage Cigéo repose sur les déchets de l'inventaire de référence.

L'inventaire de référence est également utilisé comme socle à sa démonstration de sûreté (cf. Chapitre 2.5.2 du présent volume) et à l'évaluation de ses impacts radiologiques (cf. Volume IV de la présente étude d'impact).

Cet inventaire de référence prend en compte :

- les déchets déjà produits et entreposés, en attente d'une filière de gestion durable, dans les bâtiments d'entreposage des producteurs de déchets (environ 40 % des déchets HA et 60 % des déchets MA-VL) ;
- les déchets qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes et par celles dont la création a été autorisée à fin 2016, jusqu'au terme prévisible de leur fonctionnement, puis de leur démantèlement.

Les hypothèses prises en comptes correspondent à un scénario de production électronucléaire considérant une durée de fonctionnement uniforme des centrales nucléaires actuelles de 50 ans ainsi que le retraitement de la totalité des combustibles usés produits par ces installations. Cette hypothèse ne préjuge pas de la décision des autorités publiques d'autoriser ou non un allongement de la durée de fonctionnement des réacteurs, de l'éventuelle création d'un nouveau parc ou d'éventuelles évolutions de stratégie en matière de retraitement. Les déchets qui seront produits par l'exploitation des installations nucléaires en cours de construction sont également pris en compte, notamment l'EPR de Flamanville (Manche), le réacteur expérimental Jules Horowitz et l'installation de recherche ITER tous deux implantés à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Le Conseil d'administration de l'Andra a proposé dans sa délibération du 5 mai 2014 (32) relative aux suites à donner au débat public sur le projet global Cigéo que *« le périmètre des déchets à retenir par l'Andra pour élaborer la demande d'autorisation de création de Cigéo soit fixé par l'État, notamment pour assurer l'articulation entre l'inventaire des déchets de Cigéo et les scenarios de politique énergétique »*.

Cet inventaire de référence constitue l'inventaire actuellement retenu pour la conception du centre de stockage Cigéo . Il ne préjuge pas des déchets qui seront autorisés à être stockés *in fine* dans le centre de stockage Cigéo. Toute évolution notable de cet inventaire au-delà devra faire l'objet d'un nouveau processus d'autorisation.

Les différents déchets destinés au centre de stockage Cigéo sont présentés dans le volume 3 de la « Pièce 7 – Version préliminaire du rapport de sûreté » de la demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo (14).

L'inventaire de référence ne comprend pas les combustibles usés des réacteurs électronucléaires, En effet, aujourd'hui la politique de la France en matière de cycle du combustible prévoit le recyclage des combustibles usés pour permettre la réutilisation des matières valorisables qu'ils contiennent. Ce sont donc des matières, destinées non pas à être stockées mais à être retraitées : autrement dit, ce qui est pris en considération dans l'inventaire de référence, ce sont les déchets HA et MA-VL issus du processus de retraitement et non les combustibles eux-mêmes.

Le volume de colis de déchets radioactifs concerné par 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 (cf. Figure 1-17). Il correspond à environ 225 000 colis stockés.

Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN estime que *« le programme industriel de gestion des déchets proposé par l'Andra et les producteurs pour l'exploitation du projet de stockage Cigéo couvre bien l'ensemble des familles de déchets inscrites dans l'inventaire de référence de Cigéo »*.

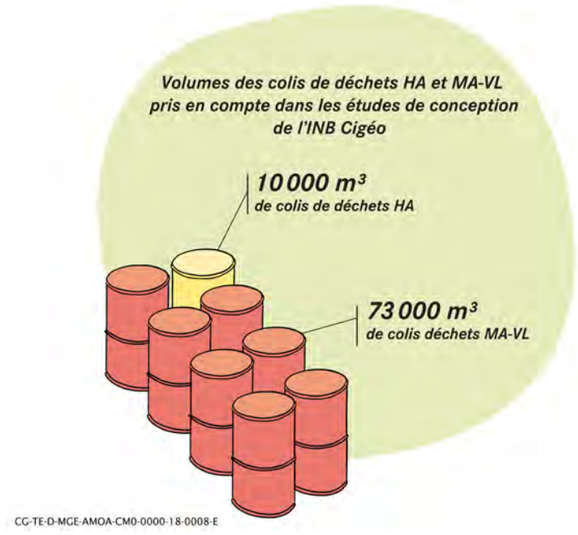


Figure 1-17 *Volumes des colis de déchets HA et MA-VL pris en compte dans les études de conception de l'INB Cigéo*

Le tableau 1-2 et le tableau 1-3 suivants fournissent les volumes[14] de colis primaires de déchets HA et MA-VL de l'inventaire de référence (selon l'Inventaire national à fin 2020).

[12] https://inventaire.andra.fr/
[13] Selon l'article R. 593-16, l'étude de maitrise des risques comprendra une présentation des dispositions prévues pour assurer le caractère réversible (dont l'adaptabilité) du stockage ainsi que le prescrit l'article L. 542-10-1.
[14] Les volumes indiqués correspondent au volume d'eau qui serait déplacé par immersion des colis primaires.

Tableau 1-2 Volume des colis primaires de déchets HA destinés au centre de stockage Cigéo

	Inventaire de référence de Cigéo	Volume déjà produit au 31/12/2020 (selon Inventaire national)
Déchets vitrifiés	9 900 m³	4 110 m³
Autres déchets HA (sources scellées usagées, déchets technologiques…)	100 m³	50 m³
TOTAL	**≈ 10 000 m³**	**4 160 m³**

Tableau 1-3 Volume des colis primaires de déchets MA-VL destinés au centre de stockage Cigéo

	Inventaire de référence de Cigéo	Volume déjà produit au 31/12/2020 (selon Inventaire national)
Déchets de structure de combustibles usés[15]	13 870 m³	6 748 m³
Déchets issus du fonctionnement et du démantèlement	59 130 m³	35 032 m³
TOTAL	**≈ 73 000 m³**	**41 780 m³**

Le planning prévisionnel de livraison des colis de l'inventaire de référence est étudié en concertation avec les producteurs, en cohérence avec le déploiement des installations du centre de stockage Cigéo. Il prend en compte les contraintes liées à la gestion des entreposages des producteurs et les contraintes liées au transport depuis les sites expéditeurs. Sur la base des hypothèses retenues à ce stade, les colis qui pourraient être stockés les premières années, sont :

- des colis MA-VL livrés depuis le site Orano de La Hague ;
- des colis HA présentant un dégagement de chaleur modéré livrés également depuis le site de la Hague (cf. Chapitre 1.2.4 du présent volume).

CAS SPÉCIFIQUE DES DÉCHETS EN PROVENANCE DE LA PRINCIPAUTÉ DE MONACO

Le stockage, en France, de déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que celui des déchets radioactifs issus du traitement de combustibles usés et de déchets radioactifs provenant de l'étranger sont interdits conformément à l'article L. 542-2 du code de l'environnement. La réalisation du centre de stockage Cigéo ne modifie en rien cette interdiction.

Comme le prévoit l'article L. 542-2 III, par exception, le stockage des déchets radioactifs produits dans la principauté de Monaco est autorisé en France dans les conditions définies par l'accord du 9 novembre 2010 signé entre le gouvernement de la République française et le gouvernement de la principauté de Monaco relatif à la prise en charge sur le territoire français de déchets radioactifs monégasques. Les déchets radioactifs de la Principauté de Monaco, proviennent d'activités médicales ou de recherche. En effet, compte tenu de l'exiguïté particulière de son territoire, de plus, enclavé dans le territoire français, Monaco n'est pas en mesure de se doter d'un centre de stockage satisfaisant sur le plan des normes de sécurité et de sûreté. C'est pourquoi l'Andra assure la gestion de ces déchets qui représentent une infime partie du volume total qu'elle prend en charge et qui sont destinés aux centres de stockage en surface.

Dans tous les cas, la France peut refuser la prise en charge de ces déchets produits aux conditions qu'elle définit puisque toute prise en charge de déchets radioactifs monégasques est soumise au préalable à une autorisation des autorités françaises et doit respecter les spécifications définies par l'Andra.

1.3.4.3 L'inventaire de réserve et l'adaptabilité du centre de stockage Cigéo

Pour tenir compte des incertitudes liées à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou d'évolutions de la politique énergétique, l'Andra étudie les mesures conservatoires et les adaptations du centre de stockage Cigéo qui seraient nécessaires dans l'éventualité d'une décision d'y stocker les déchets de l'inventaire de réserve.

Le PNGMDR 2016-2018 (15) imposait à l'Andra de remettre « avant *le 31 mars 2017 au ministre chargé de l'énergie une proposition de types et de quantités de déchets à inclure dans les réserves* ». L'Andra a remis cette proposition en 2017 (33), proposition mise à jour afin de prendre en compte les scénarios prospectifs de production électronucléaire de l'édition 2018 de l'Inventaire national et remise en 2019 (27). Les différents scénarios pris en compte dans l'inventaire de réserve sont présentés ci-dessous, ainsi qu'une estimation du volume que cela représenterait (comprenant les déchets et leur conditionnement ainsi que le conteneur de stockage) :

1. Dans le cadre d'un scénario de poursuite du nucléaire, avec retraitement des combustibles usés : l'allongement de la durée de fonctionnement des réacteurs de 50 à 60 ans, qui induirait le stockage d'environ 4 000 m³ de déchets supplémentaires conditionnés en conteneurs de stockage (dont 3 700 m³ de déchets vitrifiés HA) ;
2. Un scénario d'arrêt du nucléaire après 60 ans de fonctionnement des REP du parc actuel, impliquant l'arrêt du retraitement, qui conduirait au stockage de près de 53 000 m³ de colis de stockage contenant les éléments combustibles EDF. Ce scénario s'accompagne d'une diminution de 3 400 m³ de l'inventaire en déchets vitrifiés HA de l'inventaire de référence et de 4 300 m³ de l'inventaire des déchets MA-VL issus du retraitement ;
3. Le stockage des éléments combustibles du CEA qui conduirait à un volume en stockage d'environ 300 m³. Les variations à la baisse des volumes de déchets HA et MA-VL retenus dans l'inventaire de référence issus du retraitement sont minimes ;
4. Le stockage d'une partie des déchets FA-VL compte tenu d'incertitudes concernant la mise en place d'une installation de stockage capable de prendre en charge tous les déchets FA-VL, et dans des délais compatibles avec les besoins d'évacuation des producteurs de ces déchets. Cela conduirait à un volume en stockage de plus de 160 000 m³.

Note : le point 1 ne peut pas être cumulé avec le point 2. En effet, soit, dans le cadre d'un scénario de poursuite de la production électronucléaire, la durée de fonctionnement des réacteurs est allongée (point 1), soit on évalue les natures et quantité de déchets à stocker dans le cadre d'un scenario d'arrêt de la production électronucléaire avec arrêt du retraitement (point 2).

L'inventaire de réserve retenu par l'Andra en lien avec les producteurs de déchets intègre (34) :

- les déchets HA et MA-VL qui résulteraient d'un éventuel allongement de la durée de fonctionnement des réacteurs et installations existantes pour une durée comprise entre 50 et 60 ans selon les réacteurs[16], au lieu d'une durée uniforme de 50 ans retenue pour l'inventaire de référence :
  - ✓ le retraitement des combustibles utilisés pendant ces années de fonctionnement supplémentaires des réacteurs induit la production de 10 000 colis HA supplémentaires[17], par rapport au scénario de référence, représentant une augmentation de 17 % du nombre de colis HA ;
  - ✓ le fonctionnement des réacteurs induit la production de 120 colis MA-VL supplémentaires (déchets activés), ce qui représente une augmentation de 0,1 % du nombre de colis MA-VL ;

[15] Les déchets de structure sont constitués des pièces métalliques des assemblages combustibles, séparées lors du traitement.
[16] Scénario cohérent avec celui défini dans l'édition 2018 de l'Inventaire national de l'Andra (27).
[17] Déchets HA vitrifiés et déchets MA-VL de structure compactés et.

- les combustibles usés des réacteurs expérimentaux et les combustibles usés de la propulsion nucléaire navale :
  - ✓ 4 300 éléments combustibles ;
- les combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires qui n'auraient pas fait l'objet d'un retraitement dans les installations actuelles prévues à cet effet ; Les quantités maximales retenues sont celles évaluées sur la base d'un scénario de non-renouvellement de la production électronucléaire :
  - ✓ l'inventaire de réserve comporte à ce titre 60 000 éléments combustibles. Cet inventaire se répartit entre les éléments combustibles de type UNE, MOX, URE et les éléments combustibles de réacteurs à neutrons rapides neufs ou usés ;
- une partie des déchets destinés à la filière FA-VL tels que déclarés pour l'édition 2018 de l'Inventaire national (27) :
  - ✓ les colis de déchets bitumés relevant de la filière FA-VL (32 901 colis pour un volume de 12 733 m³) ;
  - ✓ les chemises[18] et empilements[19] en graphite (143 000 colis pour un volume de 92 935 m³) ;
  - ✓ les déchets dits « UNGG de La Hague » (3 014 colis pour un volume de 3 962 m³) ;
- les déchets particuliers de « petits » producteurs et du « nucléaire diffus »[20] (42 colis pour un volume de 37 m³).

Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN estime *« satisfaisant que la mise à jour de l'inventaire de réserve, proposée par l'Andra, intègre désormais l'ensemble des combustibles usés du CEA (civils et défense), des déchets des petits producteurs et du nucléaire diffus et des empilements de graphite ».*

L'ensemble des substances figurant dans l'inventaire de réserve doit pouvoir être stocké en toute sûreté par l'introduction d'évolutions de conception pouvant être mises en œuvre, à un coût économiquement acceptable, au cours du fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

Afin de garantir cette possibilité, l'Andra mène des études dites « d'adaptabilité » du centre de stockage Cigéo, en parallèle de la conception visant au stockage de l'inventaire de référence. Ces études d'adaptabilité sont intégrées au dossier support à la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo.

Si, au cours de l'exploitation du centre de stockage Cigéo, une décision était prise d'y stocker des déchets de l'inventaire de réserve, une demande d'autorisation spécifique serait déposée par l'Andra. La réception des déchets de l'inventaire de réserve et la mise en œuvre des évolutions de conception feront l'objet, le moment venu, des procédures d'autorisation adéquates selon le cadre réglementaire en vigueur.

En particulier l'accueil de combustibles usés nécessitera une nouvelle demande d'autorisation, sachant que l'éventuelle nécessité de stocker les combustibles usés ne relève pas d'une décision de l'Andra mais d'un possible changement de la politique énergétique de la France (réutilisation des matières valorisables contenues dans les combustibles qui pourrait être remise en question). Au stade de la demande d'autorisation de création (DAC), et conformément aux demandes de l'ASN, l'Andra doit justifier, au travers d'études dites « d'adaptabilité » qu'il n'y aurait pas d'éléments rédhibitoires au stockage éventuel de ces combustibles. Il s'agit de vérifier que la démonstration de sûreté pourrait être apportée pour leur stockage si celui-ci était décidé, ce qui supposerait donc à la fois un changement de la politique énergétique nationale et la décision par les générations futures de retenir le centre de stockage Cigéo comme solution de stockage pour ces combustibles usés. En conséquence, le choix de l'inventaire à stocker dans le centre de stockage Cigéo, et notamment la question de l'intégration ou non dans cet inventaire des combustibles usés, ne relève pas d'une approche consistant à définir la solution de stockage la plus adaptée et qui nécessiterait une analyse comparée des scénarios. En effet, les combustibles ne sont pas, à ce jour, des déchets. Une analyse telle que préconisée par l'Autorité environnementale serait effectivement à mener en cas de reclassement en « déchets » des combustibles suite à un éventuel abandon du retraitement, afin de définir la solution optimale de gestion de ceux-ci. Une telle démarche relèverait d'un choix de gestion de la filière des déchets HA/MA-VL et relèverait du PNGMDR[21].

[18] Les chemises en graphite sont les enveloppes cylindriques creuses qui entouraient le combustible dans les réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG).

[19] Les empilements en graphite accueillaient les chemises et constituaient des éléments du cœur des réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG).

[20] Selon l'arrêté du 23 avril 2012 pris en application du décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'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, les déchets radioactifs du nucléaire « diffus » sont les déchets radioactifs produits ponctuellement et en quantités limitées hors des installations nucléaires de base et des installations nucléaires de base secrètes (35).

[21] Il convient en effet de ne pas confondre l'évaluation environnementale du centre de stockage Cigéo conçu dans le cadre de la politique énergétique et la politique en matière de cycle du combustible, qui sont une donnée d'entrée pour l'Andra, et l'évaluation environnementale du cycle du combustible, qui dépasse l'Andra, et qui relèverait d'une évaluation environnementale plus large, centrée sur les usines du cycle

Les études d'adaptabilité permettent ainsi de vérifier que la conception actuelle de l'INB de Cigéo ne présente pas de caractère rédhibitoire au stockage des colis de l'inventaire de réserve. Ces résultats d'études offrent donc des choix de gestion aux générations successives, mais ils ne modifient, ni les voies de gestion actuellement retenues pour ces déchets, ni les études pour le développement de filières qui leur seraient plus spécifiquement adaptées qui sont organisées par le plan national de gestion des matières et des déchet radioactifs (PNGMDR).

1.3.4.4 Les déchets d'éventuelles futures installations nucléaires

Le déploiement de nouvelles capacités de production nucléaire dépend de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) qui est l'outil de pilotage de la politique énergétique française. La PPE est liée à d'autres plans nationaux, la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR). Ce dernier définit et évalue les modes de gestion des déchets radioactifs produits par les installations nucléaires. Ces trois documents-cadres sont établis par le ministère de la Transition écologique et font l'objet de séquences de concertation avec le public, conformément à l'article R. 121-1-1 du code de l'environnement. Ainsi, le projet de PPE 2019-2028 a fait l'objet d'un débat public en 2018 (36). C'est ce projet qui a été pris en compte pour le dimensionnement du futur centre de stockage Cigéo.

Sur la durée prévisionnelle séculaire de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, la création de nouvelles installations nucléaires produisant des déchets radioactifs, ou consacrées à leur gestion, est une hypothèse suffisamment probable pour devoir être envisagée. Les inventaires des déchets HA et MA-VL sont fondés sur des hypothèses prévisionnelles évolutives de production de déchets et ne doivent pas être considérés comme des données intangibles. Toute évolution de l'inventaire des déchets du centre de stockage Cigéo serait instruite, pour le compte du Gouvernement, dans le cadre de futurs travaux du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) (cf. Chapitre 1.3.2 du présent document).

En 2022, le Gouvernement a publié des travaux menés dans le cadre de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) exposant ses réflexions quant aux conditions techniques et économiques d'une décision de construction de nouveaux réacteurs nucléaires. Ces travaux intègrent une analyse des conséquences d'un renouvellement du parc sur le cycle du combustible et la gestion des déchets nucléaires.

En appui de cette analyse, le Gouvernement a sollicité l'Andra pour réaliser une première évaluation technique de l'éventuel impact sur le centre de stockage Cigéo.

Cette évaluation préliminaire par l'Andra se fonde sur les hypothèses du rapport du Gouvernement et les travaux menés par ailleurs dans le cadre de l'adaptabilité du centre de stockage. Elle ne préjuge pas des processus règlementaires et démocratiques requis pour la création de nouveaux réacteurs et pour la gestion des déchets induits.

Le déploiement progressif du centre de stockage Cigéo lui confère une capacité à s'adapter à des évolutions d'inventaire. Si la création de nouveaux réacteurs était autorisée, des études techniques d'esquisse, puis d'avant-projet devraient être engagées par l'Andra, sur la base de données techniques affinées, afin de pouvoir déposer auprès des autorités compétentes les dossiers réglementaires nécessaires à l'obtention des autorisations de mise en stockage des déchets induits.

Dans le cadre de l'hypothèse, faite par le Gouvernement, de la construction, puis de l'exploitation de 6 nouveaux réacteurs nucléaires de type EPR2, et à stratégies de gestion des combustibles usés équivalentes à celles étudiées pour le parc actuel, les déchets HA et MA-VL produits présenteraient des caractéristiques similaires à ceux étudiés pour la conception du centre de stockage Cigéo.

Au stade de l'analyse préliminaire menée par l'Andra, la sûreté du centre de stockage Cigéo et sa faisabilité ne sont pas remises en cause par le stockage des déchets qui seraient produits par ces six nouveaux réacteurs.

La production et l'expédition des déchets supplémentaires produits par ces 6 nouveaux réacteurs EPR2, ainsi que la décroissance de la puissance résiduelle des déchets HA afférents, nécessaire avant leur mise en stockage, conduiraient à un allongement de la durée de fonctionnement du centre de stockage Cigéo. En lien avec ces délais

de production et d'expédition des déchets produits par ces nouveaux réacteurs, des études complémentaires pourront ainsi être menées.

Les études d'adaptabilité permettent ainsi de vérifier que la conception actuelle de l'INB Cigéo ne présente pas de caractère rédhibitoire au stockage des colis de l'inventaire de réserve. Ces résultats d'études offrent donc des choix pour de futures décisions en matière de gestion de ces déchets, mais ne modifient, ni leurs voies de gestion retenues actuellement, ni les études pour le développement de filières qui leur seraient plus spécifiquement adaptées. Celles-ci qui sont organisées par le Plan national de gestion des matières et des déchet radioactifs (PNGMDR).

En outre, sur la durée prévisionnelle séculaire de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, la création de nouvelles installations nucléaires produisant des déchets radioactifs, ou consacrées à leur gestion, est une hypothèse suffisamment probable pour devoir être envisagée. Les inventaires des déchets HA et MA-VL sont fondés sur des hypothèses prévisionnelles évolutives de production de déchets et ne doivent pas être considérés comme des données intangibles. Toute évolution de l'inventaire des déchets du centre de stockage Cigéo serait instruite, pour le compte du gouvernement, dans le cadre de futurs travaux du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

Synthèse - Les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

Les déchets HA sont essentiellement des résidus extraits des combustibles nucléaires lors de leur retraitement (produits de fission et actinides mineurs), puis vitrifiés. Les déchets MA-VL sont principalement des pièces métalliques issues du retraitement des assemblages de combustibles nucléaires, des composants ayant séjourné dans des réacteurs nucléaires, des déchets issus du fonctionnement des installations nucléaires (déchets de maintenance, résidus des procédés…) et de leur démantèlement.

La dangerosité des déchets radioactifs HA et MA-VL nécessite de mettre en place, aux différentes étapes de leur gestion, des dispositifs appropriés à la protection de l'Homme et l'environnement.

Ils font en premier lieu l'objet d'un conditionnement. Ce conditionnement représente l'ensemble des opérations consistant à introduire des déchets dans un conteneur[22], où ils sont incorporés, ou non, dans un matériau dit « d'enrobage ». Les opérations de conditionnement comprennent par exemple le compactage, la vitrification, la cimentation, le bitumage, la mise en conteneur. Elles permettent de constituer des « colis de déchets », dans lesquels les déchets radioactifs sont mis sous une forme convenant à leur transport, leur entreposage ou leur stockage

Par ailleurs, des dispositifs appropriés à la protection de la santé de l'homme et de l'environnement sont également mis en œuvre dans les installations d'entreposage au sein desquelles les déchets HA et MA-VL déjà produits sont actuellement conservés à titre temporaire (installations d'entreposage robustes avec parois épaisses, barrières de confinement…). Malgré cette dangerosité intrinsèque des déchets radioactifs, les installations actuelles de gestion des colis de déchets HA et MA-VL, grâce à leur conception robuste et au regard de leur unique objectif de mise en sécurité de ces déchets, génèrent peu d'exposition du public et de l'environnement en situations normales et dégradées.

Toutefois, cette étape d'entreposage des déchets HA et MA-VL dans des installations de surface ou sub-surface ne présente pas un caractère pérenne sur le très long terme considérant d'une part, leur niveau de radioactivité et la très longue durée pendant laquelle leur dangerosité perdure et d'autre part, la durée de vie limitée des dites installations d'entreposage, lesquelles nécessitent d'être renouvelées périodiquement pour maintenir leur niveau de sûreté.

En revanche, le projet global Cigéo permet d'assurer une mise en sécurité passive définitive, et sur le très long terme, des colis de déchets HA et MA-VL actuellement entreposés chez les producteurs en attente d'une gestion durable. La mise en stockage des colis de déchets ajoute, au conditionnement de ces derniers, la possibilité d'un confinement passif des déchets radioactifs sur de grandes échelles de temps, adaptées à leurs caractéristiques physico-chimiques.

La conception du centre de stockage Cigéo repose sur les déchets d'un inventaire de référence. Cet inventaire de référence est constitué de l'inventaire des déchets HA et MA-VL déjà produits (environ 40 % des déchets HA et 60 % des déchets MA-VL) et de ceux qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes et par celles dont la création a été autorisée à fin 2016, jusqu'au terme prévisible de leur fonctionnement, puis de leur démantèlement. Le volume des colis de déchets radioactifs de l'inventaire de référence destiné à être stocké dans le centre de stockage Cigéo si le centre de stockage est autorisé, est de l'ordre de 83 000 m³ (environ 10 000 m³ pour les colis de déchets HA et environ 73 000 m³ pour les colis de déchets MA-VL). Il correspond à environ 225 000 colis stockés.

Le planning prévisionnel de livraison est étudié en concertation avec les producteurs de déchets. Les colis qui pourraient être stockés les premières années sont des colis MA-VL et des colis HA présentant un dégagement de chaleur modéré.

Pour tenir compte des incertitudes liées à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou d'évolutions de la politique énergétique, l'Andra étudie les adaptations du centre de stockage Cigéo qui seraient nécessaires si l'inventaire des déchets à stocker venait à être modifié. Ces évolutions sont étudiées au travers d'un inventaire de réserve composé d'une partie des déchets aujourd'hui orientés vers la filière FA-VL, des combustibles expérimentaux et de la propulsion nucléaire navale et des combustibles usés des réacteurs électronucléaires qui ne seraient pas retraités dans un scénario de politique énergétique consistant à arrêter la production d'électricité d'origine nucléaire.

[22] Une étape de préparation des déchets peut éventuellement précéder la mise en conteneur (préconditionnement).

1.4 Le contexte de la gestion durable des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

Selon le code de l'environnement, la gestion durable des déchets radioactifs a pour objectif leur mise en sécurité définitive pour prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures (article L. 542-1 du code de l'environnement). En effet, ce sont les générations actuelles qui ont exercé les activités nucléaires et qui en ont bénéficié (cf. Chapitre 1.1.2 du présent volume). Il est donc de leur responsabilité de déployer les options techniques permettant d'assurer la gestion pérenne et sûre des déchets HA et MA-VL produits, sans en reporter indéfiniment la charge de générations en générations. L'exposé des motifs de la loi votée en 2016 pour préciser les modalités de création d'un stockage géologique (37, 38), portée au Parlement par des élus d'engagements politiques différents, évoque la volonté d'élus « *qui ont en commun de ne pas laisser aux générations à venir, sans solution face à une situation dont nous avons bénéficié et dont nous bénéficierons encore plusieurs décennies* » et le refus de « *l'égoïsme générationnel qui consisterait à laisser aux générations nouvelles le soin d'assumer seules les contreparties de nos avantages accumulées pendant la période de production de nos réacteurs* ».

Aujourd'hui, des financements, des ressources humaines, des compétences et des moyens techniques sont disponibles pour engager des décisions visant à mettre définitivement en sécurité les déchets HA et MA-VL. Ces connaissances et ces moyens financiers et techniques sont accessibles en raison de l'existence de l'industrie électronucléaire actuelle, adossée à un important secteur de recherches nucléaires. Ces moyens ont été développés et encadrés par des politiques nationales sur plusieurs décennies.

Compte tenu des déchets HA et MA-VL déjà produits[23], la question de leur gestion durable est indépendante du fait que leur production perdure ou cesse à l'avenir. Elle doit être bien distinguée des décisions concernant l'avenir des programmes militaires ou de la filière électronucléaire.

LE FINANCEMENT DE LA GESTION DURABLE DES DÉCHETS HA ET MA-VL

La loi du 28 juin 2006 (17) prévoit un cadre pour le financement de la gestion durable des déchets HA et MA-VL 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, le fonctionnement, le démantèlement et la fermeture d'un centre de stockage en couche géologique profonde adapté à ces types de déchets.

L'ensemble de ces dépenses est financé intégralement par les producteurs de déchets, conformément au principe « pollueur-payeur » (article L. 110-1 II 3° du code de l'environnement) et de l'article L. 542-1 du code de l'environnement.

Les principes de financement fixés par les articles L. 542-12-2 et L. 542-12-3 du code de l'environnement instituent respectivement au sein de l'Andra :

- un fonds destiné au financement de la construction, de l'exploitation, de la fermeture, de l'entretien et de la surveillance des installations d'entreposage ou de stockage des déchets de haute activité ou des déchets de moyenne activité à vie longue construites ou exploitées par l'Andra. Ce fonds aura pour ressources les contributions des exploitants d'installations nucléaires de base définies par des conventions ;
- un fonds destiné à financer les études nécessaires à la conception des installations de stockage des déchets radioactifs de haute activité et des déchets de moyenne activité à vie longue construites par l'Andra, ainsi que les opérations et travaux préalables au démarrage de la phase de construction de ces installations. Ce fonds a pour ressources le produit de la contribution spéciale prévue au I de l'article 58 de la loi n° 2013-1279 du 29 décembre 2013 de finances rectificative pour 2013 (39).

Les études et recherches bénéficient également d'un financement par fonds créé à l'article L. 542-12-1 du code de l'environnement, fonds destiné au financement des recherches et études sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs. Ce fonds a pour ressources le produit de la taxe dite de "recherche" additionnelle à la taxe sur les installations nucléaires de base prévue au V de l'article 43 de la loi de finances pour 2000 (loi n° 99-1172 du 30 décembre 1999 (40)). Ce fonds finance notamment les études de recherches et développement de l'Andra et les coûts de fonctionnement du Laboratoire de recherche souterrain de l'Andra en Meuse/Haute-Marne (cf. Chapitres 2.3.1 et 2.3.2.1 du présent volume).

En complément de ces fonds, un dispositif de sécurisation de la disponibilité des financements auprès des producteurs de déchets a été instauré par la loi du 28 juin 2006 (17). Les articles L. 594-1 et L. 594-2 du code de l'environnement prévoient notamment que :

- les exploitants d'installations nucléaires de base évaluent les charges de gestion de leurs combustibles usés et déchets radioactifs ;
- ils constituent les provisions correspondant à ces charges et affectent, à titre exclusif, à la couverture de ces provisions les actifs nécessaires ;
- ils comptabilisent de façon distincte ces actifs qui doivent présenter un degré de sécurité et de liquidité suffisant pour répondre à leur objet. Leur valeur de réalisation doit être au moins égale au montant des provisions, à l'exclusion de celles liées au cycle d'exploitation.

En application de l'article L. 594-4 du code de l'environnement, un dispositif de contrôle a été mis en place. Les exploitants transmettent tous les trois ans à l'autorité administrative compétente un rapport décrivant l'évaluation des charges, les méthodes appliquées pour le calcul des provisions afférentes à ces charges et les choix retenus en ce qui concerne la composition et la gestion des actifs affectés à la couverture des provisions. Ils transmettent tous les ans à l'autorité administrative compétente une note d'actualisation de ce rapport et l'informent sans délai de tout événement de nature à en modifier le contenu.

Synthèse - Le contexte de la gestion durable des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

La gestion durable des déchets HA et MA-VL, c'est-à-dire leur mise en sécurité définitive et sur le très long terme, pour prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures, est une exigence éthique fixée par le code de l'environnement.

En effet, il est de la responsabilité des générations actuelles, qui ont exercé les activités nucléaires et qui en ont bénéficié, de déployer les options techniques permettant d'assurer la gestion pérenne et sûre des déchets HA et MA-VL produits, sans en reporter indéfiniment la charge de générations en générations.

Le projet global Cigéo permet d'assurer cette gestion durable des déchets HA et MA-VL.

[23] Des colis de déchets sont produits depuis le début des années soixante.

2

Les solutions de substitution examinées et la justification des principales raisons techniques et environnementales des choix effectués

2.1 Les exigences de protection pour la santé de l'homme et de l'environnement à prendre en compte 28

2.2 Le choix du stockage géologique parmi les différentes pistes de gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL 29

2.3 Le choix français du stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien 58

2.4 Les choix d'implantation du centre de stockage Cigéo et des autres opérations associées 74

2.5 Les principaux choix techniques et environnementaux effectués pour la conception du centre de stockage Cigéo 108

2.6 Un projet développé en dialogue avec la société 136

2.7 Pourquoi engager la réalisation du centre de stockage Cigéo maintenant ? 146

2.1 Les exigences de protection pour la santé de l'homme et de l'environnement à prendre en compte

Les études et recherches effectuées en France et dans les autres pays pour la gestion durable des déchets HA et MA-VL, sur le très long terme, tiennent compte de la nature et des propriétés de ces déchets (cf. Chapitre 1.3 du présent volume) ainsi que des objectifs et exigences présentées ci-après.

Toutes les installations nucléaires, y compris les installations de stockage de déchets, sont soumises à des objectifs réglementaires de protection de l'Homme et de l'environnement, fixés par l'ASN, en cohérence avec les recommandations de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE (CIPR)

Créée en 1928, la CIPR est une organisation non-gouvernementale dont l'objectif est d'apprécier l'état des connaissances sur les effets des rayonnements afin d'identifier leurs implications du point de vue des règles de protection à adopter.

La CIPR analyse les résultats des recherches effectuées dans le monde et examine les travaux d'autres organisations internationales. Elle émet des recommandations générales, destinées, en particulier, aux organismes réglementaires, sur les règles de protection et les niveaux d'exposition à ne pas dépasser.

D'une manière générale, la conception des installations nucléaires doit viser à maintenir leur impact radiologique au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte-tenu notamment de l'état des techniques et des facteurs économiques et sociaux.

La réglementation française fixe à un millisievert (mSv) la dose efficace[24] maximale (cf. Chapitre 1.1.3 du présent volume) admissible à laquelle chaque personne du public peut être exposée en une année de la part de l'ensemble des activités nucléaires, c'est-à-dire sans compter l'exposition liée à la radioactivité naturelle et les doses reçues lors des examens ou des traitements médicaux[25] (article R. 1333-11 du code de la santé publique).

Pour comparaison, l'exposition efficace moyenne liée à la radioactivité naturelle des Français de métropole est estimée à 2,9 mSv/an du fait de l'exposition du corps entier au radon, aux rayonnements telluriques, aux rayonnements cosmiques, et à l'ingestion d'eau et de denrées alimentaires (cf. Chapitre 1.1.3.2 du présent volume). L'exposition de chaque individu peut varier significativement autour de cette valeur moyenne selon son lieu d'habitation et son mode de vie (4). Les doses susceptibles d'être reçues lors d'examens ou de traitements médicaux peuvent être nettement supérieures à ces valeurs. Ces expositions liées aux pratiques médicales et les risques qu'elles induisent sont compensées par les bénéfices attendus pour la santé des patients.

Concernant les expositions dues aux activités humaines, hors médecine, chaque personne du public est susceptible d'être exposée en parallèle à plusieurs sources de rayonnement, par exemple lorsque plusieurs installations nucléaires coexistent dans une même zone. Pour prendre en compte cette situation, la dose efficace individuelle maximale potentiellement générée par une seule installation, dénommée « contrainte »[26], est réduite à une fraction de la limite réglementaire totale de 1 mSv/an. Ainsi, la somme des expositions ne dépasse pas la limite par individu.

Pour les centres de stockage de déchets radioactifs de l'Andra en exploitation, la contrainte de dose efficace individuelle est fixée, pour chaque centre à 0,25 mSv/an pour le public. Cette contrainte de dose des installations françaises de stockage de déchets radioactifs est du même ordre de grandeur que la contrainte de dose retenue par la CIPR et l'AIEA (0,3 mSv/an (12))

Une dose efficace individuelle de 0,25 mSv correspond à une exposition similaire à la dose que chacun d'entre nous reçoit annuellement par la seule présence, dans notre propre corps, d'éléments radioactifs d'origine naturelle (auto-irradiation). Elle représente environ 10 % de l'exposition efficace moyenne des français de métropole par la radioactivité naturelle.

Si la contrainte de 0,25 mSv/an est applicable à la phase de fonctionnement et de démantèlement/fermeture du centre de stockage Cigéo, elle l'est aussi pendant la phase après fermeture et sur le long terme. En effet, la CIPR stipule que les individus et les populations à l'avenir devraient bénéficier au moins du même niveau de protection vis-à-vis des déchets que la génération actuelle. De plus elle prévoit que soient prises en compte la période d'exploitation de l'installation accueillant les déchets, la période suivante au cours de laquelle la société restera en mesure de mettre en place une surveillance réglementaire et un contrôle administratif du site, mais aussi la période plus lointaine où la société pourrait ne plus être en mesure de garder un œil vigilant sur l'installation, voire où la mémoire de l'installation aurait été perdue.

LES EXIGENCES DU GUIDE DE SÛRETÉ N° 1 DE L'AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (ASN) CONCERNANT LES STOCKAGE EN COUCHE GÉOLOGIQUE PROFONDE

Le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde de l'ASN (43) indique que « *la protection de la santé des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde* ».

Pour s'assurer de l'adéquation du stockage à l'objectif fondamental, le guide de sûreté impose que des évaluations de l'impact radiologique soient effectuées, pendant l'exploitation du centre comme pour toute autre installation nucléaire, ainsi qu'à long terme après sa fermeture : « *Pour la situation de référence après la fermeture de l'installation de stockage, les doses efficaces individuelles calculées ne devront pas excéder la valeur de 0,25 mSv/an pour des expositions prolongées liées à des événements certains ou très probables.* »

L'évaluation de l'impact radiologique sur les personnes dépend de l'état de l'évolution intrinsèque des déchets et de l'installation, mais aussi du mode de vie de ces personnes. Aux grandes échelles de temps, faute de connaitre l'évolution future du mode de vie, le guide de sûreté de l'ASN mentionne de fonder l'évaluation sur l'hypothèse d'une constance de ce mode de vie (consommation de denrées alimentaires, modes d'exposition…).

Plus généralement, le guide de sûreté définit aussi les conditions dans lesquelles l'augmentation des incertitudes avec le temps est à prendre en compte, y compris l'occurrence de « situations altérées ».

Les évaluations de l'impact radiologique après fermeture et à long terme sont présentées dans les volumes IV et VI de la présente étude d'impact.

[24] La « dose efficace » mesure l'exposition d'une personne aux rayonnements en tenant compte de leur impact biologique sur les tissus affectés. Elle s'exprime en sieverts ou millisieverts.

[25] Il s'agit de dose d'exposition du corps entier, sachant que pour les expositions d'un organe ou d'un tissu, on considère des limites de dose équivalentes : ainsi, les limites de doses équivalentes pour le cristallin et pour la peau sont fixées respectivement à 15 mSv/an et à 50 mSv/an.

[26] La notion de contrainte de dose a été introduite en 1991 par la CIPR (Publication 60) (41). C'est une restriction appliquée aux doses résultant de l'exposition à une source unique. Elle vise à réduire les inégalités de distribution des doses entre individus. Elle est reprise par la directive 2013/59/EURATOM du Conseil du 5 décembre 2013 (42) comme étant « *une restriction définie comme plafond prospectif de doses à l'individu, utilisée pour définir l'éventail d'options envisagées dans le processus d'optimisation pour une source de rayonnement donnée en situation d'exposition planifiée* ».

2.2 Le choix du stockage géologique parmi les différentes pistes de gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL

2.2.1 Le contexte

La recherche et l'étude des pistes de gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL a été initiée de longue date dans la plupart des pays ayant développé des programmes nucléaires militaires ou électronucléaires.

En France, le rapport Castaing (1983) (44) et les rapports Goguel produits en 1987 (45) et 1988 (46), présentent déjà des pistes de gestion et une première analyse de leur faisabilité.

En mai 2019, dans le cadre du débat public relatif au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) (21), l'IRSN a établi, à la demande de la Commission nationale du débat public un « Panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue » (47).

Le présent chapitre inventorie les pistes étudiées ou évoquées pour la gestion à long terme des déchets HA et MA-VL et fait le point sur leur maturité technique et sur leurs avantages respectifs pour la gestion des déchets HA et MA-VL.

Ainsi, sont successivement abordées les solutions de gestion potentielles des déchets HA et MA-VL suivantes :

- l'entreposage de longue durée des déchets (cf. Chapitre 2.2.2 du présent volume) ;
- la réduction de la dangerosité des déchets par transmutation (cf. Chapitre 2.2.3 du présent volume) ;
- l'envoi des déchets dans l'espace (cf. Chapitre 2.2.4 du présent volume) ;
- l'évacuation des déchets dans les fonds mains (cf. Chapitre 2.2.5 du présent volume) ;
- le stockage des déchets dans le milieu géologique continental (cf. Chapitre 2.2.6 du présent volume), dont le stockage en forages très profonds et le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde.

Une synthèse comparative des principales solutions de gestion envisagée est ensuite présentée (cf. Chapitre 2.2.7 du présent volume), étant entendu que bien que la voie du stockage en couche géologique profonde soit adoptée internationalement (cf. Chapitre 2.2.8 du présent volume), les recherches sur les solutions alternatives se poursuivent (cf. Chapitre 2.2.9 du présent volume).

2.2.2 L'entreposage de longue durée des déchets

Le code de l'environnement (article L. 542-1-1) 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, avec intention de les retirer ultérieurement ». Cette définition est équivalente à celles données par la directive européenne du 19 juillet 2011 et par l'AIEA (12).

La gestion des déchets HA et MA-VL peut s'envisager par prolongation de leur entreposage dans des installations du type de celles qui les abritent actuellement (cf. Chapitre 1.3.2 du présent volume). En pratique, cela nécessite la construction périodique de nouvelles installations d'entreposage, puis le transfert des colis de déchets vers ces dernières, éventuellement après reconditionnement.

Une installation centralisée, éventuellement implantée à proximité de la surface, pourrait également être envisagée. Sur la base des technologies et de l'expérience disponibles, l'entreposage de longue durée est applicable à l'ensemble des colis de l'inventaire de référence des colis HA et MA-VL (cf. Chapitre 1.3 du présent volume).

Il est à noter que la stratégie d'entreposage présente pour la génération actuelle un intérêt financier immédiat. En effet, elle diffère les investissements nécessaires à la mise en œuvre d'un dispositif de gestion à caractère définitif. Inversement, les coûts des investissements pour de nouveaux entreposages s'ajoutent au coût global, si un dispositif de gestion à caractère définitif, par exemple un stockage, est décidé dans le futur.

Sur le plan environnemental, la construction d'un ou de plusieurs entreposages de longue durée aurait un impact brut fort, comparable à celui d'un centre de stockage géologique, notamment s'il s'agit d'un entreposage centralisé implanté à proximité de la surface. En effet, une telle installation centralisée nécessiterait le même ordre de grandeur de capacité en termes de volume de colis accueillis et des infrastructures robustes en béton armé. Leur fonctionnement et leur démantèlement aurait un impact modéré. De plus, ils impliqueraient, à terme, de reprendre des activités de transport de substances radioactives en nombre relativement élevé, puisqu'à l'issue de son fonctionnement, il faudrait désentreposer les colis et les transférer vers d'autres installations de gestion.

Jusqu'en 2006, des études et recherches ont été menées par le CEA en vue d'augmenter la durée d'entreposage au sein d'une même installation. L'objectif était de dépasser le siècle dans un entreposage dit « de longue durée ». Les concepts d'installations étudiés, à la surface du sol ou à proximité de la surface (sub-surface), reposent sur un dimensionnement et sur des matériaux spécifiquement choisis pour leur durabilité. Leur fonctionnement est aussi « passif » que possible, c'est-à-dire qu'il requiert le moins d'actions humaines possibles pour la maintenance et la surveillance, jusqu'à ce qu'il soit décidé d'en retirer les colis de déchets. Pour cette raison, l'entreposage produit très peu de nouveaux déchets pendant son fonctionnement. Une durabilité de ces installations jusqu'à trois siècles a été avancée au plan technique. Le principe d'un entreposage de durée encore beaucoup plus longue a parfois été évoqué en se fondant sur l'expérience des pyramides ou mausolées antiques subsistant aujourd'hui. Les études ont néanmoins montré que leur fonctionnement ne pouvait pas être complètement « passif » et qu'une interruption prolongée de la maintenance et de la surveillance des installations pourrait mettre leur sûreté en défaut et entraîner des risques très importants. Une telle interruption pourrait survenir par exemple à la suite d'une crise sociétale et d'une dégradation temporaire du contrôle institutionnel (crise, guerre, abandon…). Un éventuel arrêt de la maintenance et un abandon définitif de telles installations se traduirait, à termes, par des impacts sanitaires et environnementaux majeurs. En effet, la dégradation des installations et la perte du confinement de colis de déchets conservant encore une grande dangerosité, à proximité de la biosphère, aurait des effets négatifs significatifs sur l'Homme et l'environnement. À cet égard, leur implantation en surface ou à proximité de la surface ne les rend pas insensibles aux agressions externes.

» ENTREPOSAGE ET STOCKAGE EN SURFACE ET À FAIBLE PROFONDEUR

Une installation d'entreposage à la surface ou proche de la surface ne doit pas être confondue avec une installation de stockage en surface ou à faible profondeur.

Une installation d'entreposage à la surface ou proche de la surface est conçue pour y conserver les déchets à titre temporaire, avant de les diriger vers une autre installation de gestion (cf. Chapitres 1.2.3.12.2 du présent volume).

L'entreposage de longue durée en surface est une technologie accessible immédiatement. Toutefois, son principal handicap résulte du fait qu'il ne constitue pas un mode de gestion durable de déchets. Les installations d'entreposage en surface requièrent un entretien fréquent (à proximité de colis de déchets présentant une forte dangerosité) et nécessitent d'être renouvelées périodiquement pour maintenir leur niveau de sûreté. L'entreposage en surface de longue durée augmente ainsi le nombre de manutentions et de transports pour entreposer et désentreposer les colis de déchets lors du renouvellement des installations. Elles ne présentent donc pas un caractère pérenne sur le très long terme (plusieurs centaines de milliers d'années) considérant d'une part, la très longue durée pendant laquelle la dangerosité des déchets à vie longue perdure et d'autre part, leur durée de vie limitée (quelques centaines d'années au plus).

Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN estime que « *les entreposages à faible profondeur ne présentent pas d'avantage déterminant, en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection, par rapport aux entreposages en surface*. » La notion « d'entreposage pérenne » n'est pas conforme au code de l'environnement (article L. 542-1-1). Elle comporte une contradiction interne (oxymore). En termes techniques, et notamment pour la gestion des risques, une installation d'entreposage centralisée de colis de déchets, dès lors qu'elle serait enterrée à faible profondeur, présenterait des spécificités de même nature qu'une installation de stockage en couche géologique profonde (contexte souterrain, galeries de manutention, alvéoles pour les colis, investissements et temps de construction et de développement, transports…). Toutefois, elle ne présenterait pas l'avantage de pouvoir, à terme, être définitivement fermée. Par ailleurs, elle resterait plus sensible aux agressions externes et aux évolutions de l'environnement compte tenu de sa plus faible profondeur et

impliquerait un déplacement des colis et pour ce faire une manutention de ces derniers pour les expédier vers la filière suivante, ce qui augmenterait les risques et les impacts potentiels (cf. Chapitre 2.2.7.5 du présent volume).

A contrario, dans les stockages, il est possible de laisser les déchets sans limite de temps. Des installations de stockage en surface existent en France pour les déchets de très faible activité dits TFA et pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte dits FMA-VC (cf. Chapitre 1.2.3.3 du présent volume). Des concepts de stockage à faible profondeur sont actuellement étudiés par l'Andra pour les déchets de faible activité à vie longue dits FA-VL. Ces derniers sont nettement moins dangereux que les déchets HA et MA-VL. (cf. Chapitre 1.2.3.3 du présent volume). En revanche, le stockage de déchets HA et MA-VL en surface ou à faible profondeur n'est pas possible considérant qu'il ne permettrait pas de respecter durablement les objectifs de protection de l'Homme et de l'environnement fixés par l'Autorité de sûreté (cf. Chapitre 2.1 du présent volume).

En 2006, après évaluation des résultats des études sur l'entreposage de longue durée du CEA, la Commission nationale d'évaluation (48) a estimé que la possibilité de prolonger au-delà d'un maximum de 100 ans, la période d'exploitation d'un entreposage n'était pas démontrée.

Pour sa part, après instruction des études du CEA, l'Autorité de sûreté nucléaire a considéré « *que l'entreposage de longue durée ne peut pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue* » car il « *suppose le maintien d'un contrôle de la part de la société et leur reprise par les générations futures, ce qui semble difficile à garantir sur des périodes de plusieurs centaines d'années* » (49). À l'issue de son fonctionnement, l'entreposage de longue durée nécessite donc la mise en œuvre d'une filière complémentaire de gestion durable des déchets HA et MA-VL sur le très long terme.

Corollairement, l'entreposage de longue durée pose une question d'éthique intergénérationnelle. En effet une pérennisation de l'entreposage, se limitant à compter sur la capacité des générations suivantes à entretenir et à renouveler les installations, constitue une stratégie d'ajournement de la gestion durable des déchets HA et MA-VL opposée aux exigences du code de l'environnement (cf. Chapitres 1.4 et 2.1 du présent volume)[27]. Elle revient à transmettre aux générations suivantes des déchets de forte dangerosité et les risques associés, sans progrès dans la recherche ou dans la mise en œuvre d'une mise en sécurité définitive. Elle ne constitue pas un mode de gestion responsable.

La directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 (11) établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs considère ainsi 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* » (considérant n° 21).

Le prolongement de l'entreposage est parfois évoqué comme une solution permettant de reporter de plusieurs dizaines d'années le choix d'un mode de gestion à caractère définitif (cf. Figure 1-6) et de poursuivre dans l'intervalle les recherches sur de nouvelles voies de gestion définitive alternatives au stockage géologique. Les voies de gestion des déchets HA et MA-VL imaginées en alternative au stockage géologique sont présentées à la suite de ce chapitre (cf. Chapitre 2 du présent volume). L'étude de certaines de ces voies n'a pas été poursuivie, notamment pour des raisons de maîtrise des risques, d'autres, parfois très récentes restent à approfondir. Il faut toutefois indiquer que le niveau actuel des avancées techniques amène à la prudence sur la faisabilité industrielle des alternatives qui restent à l'étude. D'autres idées pourront naturellement émerger au fil des développements techniques et des contraintes sociales et environnementales. Toutefois, le report d'une décision relative au stockage géologique, en attente de l'émergence hypothétique d'une solution de gestion alternative, constitue un « pari » qu'il faut mettre en balance avec les dangers et les charges qu'il fait peser sur les générations à venir (cf. Chapitres 1.3 et 2.1 du présent volume) et des incertitudes quant à l'avenir. Inversement, l'engagement progressif d'un stockage des déchets HA et MA-VL n'exonère pas de poursuivre les efforts de recherche pour réduire les risques de leur gestion. Si de nouvelles techniques industrielles venaient à apparaître, utiles pour la gestion des déchets, elles seraient naturellement mises à profit. Toutefois, il est peu probable qu'elles puissent concerner toutes les natures de déchets, notamment ceux déjà conditionnés (vitrifiés, cimentés, métalliques, bitumés…). Elles viendraient donc compléter la voie du stockage, mais celle-ci resterait utile pour les déchets restants.

[27] Selon le code de l'environnement, la gestion durable des déchets a pour objectif leur mise en sécurité définitive pour prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures (article L. 542-1).

» LES CONCLUSIONS DE L'ASN RELATIVES A L'ENTREPOSAGE DE LONGUE DUREE DANS SON AVIS DU 1ER FEVRIER 2006 RELATIF AUX RECHERCHES MENEES DANS LE CADRE DE LA LOI DU 30 DECEMBRE 1991

« *Les recherches menées sur l'étude des procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée de ces déchets confirment que l'entreposage est une étape nécessaire pour permettre le refroidissement de certains colis de déchets avant leur stockage en formation géologique profonde* ».

« *En revanche, l'ASN estime qu'il ne serait pas raisonnable de retenir comme solution de référence la solution consistant à renouveler plusieurs fois un entreposage de longue durée, car elle suppose le maintien d'un contrôle de la part de la société et la reprise des déchets par les générations futures, ce qui semble difficile à garantir sur des périodes de plusieurs centaines d'années* ».

« *L'ASN considère que l'entreposage de longue durée ne peut pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue* ».

Ces conclusions ont été rappelées par l'ASN dans son avis du 1er décembre 2020 (16).

2.2.3 La réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation

2.2.3.1 Le principe de la transmutation

La réduction de la dangerosité des déchets HA et MA-VL est une piste technique qui vise à faciliter les étapes de leur gestion à long terme ou même à accéder directement à leur mise en sécurité définitive si leur dangerosité peut être annihilée.

L'une des pistes étudiées pour réduire la dangerosité des déchets radioactifs est la transmutation des radionucléides contenus dans les déchets et plus particulièrement les radionucléides à vies longues, par exemple l'Américium 243 (période de 7380 ans) ou l'iode 129 (15,7 millions d'années)[28].

La transmutation est une réaction nucléaire (cf. Figure 2-1). Comme toutes les réactions nucléaires, naturelles ou artificielles (cf. Chapitre 1.1.1 du présent volume), elle transforme des atomes en d'autres atomes de nature chimique différente. Les réactions nucléaires de fission et de fusion ou les désintégrations associées à la décroissance radioactive mettent en œuvre des transmutations.

L'objectif de son utilisation pour la gestion des déchets consiste à transformer ces radionucléides à vie longue en d'autres radionucléides de période plus courte et qui cessent donc plus rapidement d'être nocifs, ou de les transformer en des éléments possédant une dangerosité plus faible. Les réactions de transmutation artificielle, pour la gestion des déchets, ne peuvent être effectuées qu'au sein de réacteurs nucléaires. La transmutation nécessite donc le développement de nouvelles installations.

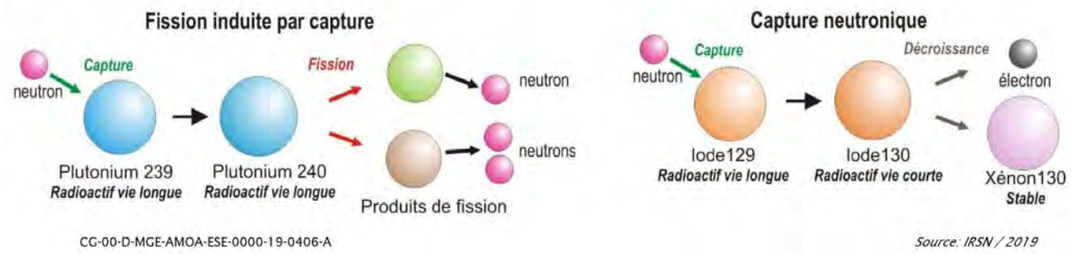


Figure 2-1 Transmutation par fission (à gauche) ou par capture de neutron (à droite) (47)

La séparation et la transmutation ont été étudiées notamment par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) depuis 1991 dans le cadre d'un programme de recherche dédié fixé par la loi (50) (cf. Figure 2-2).



Figure 2-2 Fabrication par voie sèche (broyage, pressage, frittage et gainage) de combustibles d'études, cibles de transmutation et matrices de confinement. © A. Gonin/CEA

LES RÉACTIONS NUCLÉAIRES EN RÉACTEUR : L'EXEMPLE DE LA FISSION DE L'URANIUM 235

La fission nucléaire est le phénomène par lequel un noyau lourd (c'est-à-dire composé d'un grand nombre de protons et de neutrons, par exemple l'uranium ou le plutonium) est désintégré par division, généralement en deux noyaux plus légers. Il existe des fissions spontanées et des fissions induites.

La fission spontanée correspond à la désintégration d'un noyau sans apport d'énergie extérieure. Elle n'est possible que pour les noyaux les plus lourds.

La fission induite a lieu lorsqu'un noyau lourd se désintègre sous l'effet d'une énergie externe, généralement la capture d'un neutron. C'est le cas de l'isotope 235 de l'uranium naturel.

En réacteur, uranium235 peut absorber un neutron et se fragmenter en produits de fission par des réactions de fission qui produisent elles-mêmes des neutrons (cf. Figure 2-3).

Un autre isotope présent dans l'uranium naturel, l'uranium235 peut se transformer par capture d'un neutron, puis désintégration, en plutonium (plutonium 239) qui peut se fissionner à son tour. La capture des neutrons peut aussi former d'autres actinides dits « mineurs » (neptunium, américium, curium).

À l'issue des procédés de traitement chimique effectué sur les combustibles usés, sont extraits des combustibles de retraitement (uranium et plutonium) et des produits de fissions et actinides mineurs. Ces deux derniers constituent *in fine* les déchets.

[28] Actinides : famille de composés radioactifs utilisés dans des réacteurs nucléaires, existant à l'état naturel comme l'uranium et le thorium ou synthétisés par l'industrie nucléaire comme le plutonium.

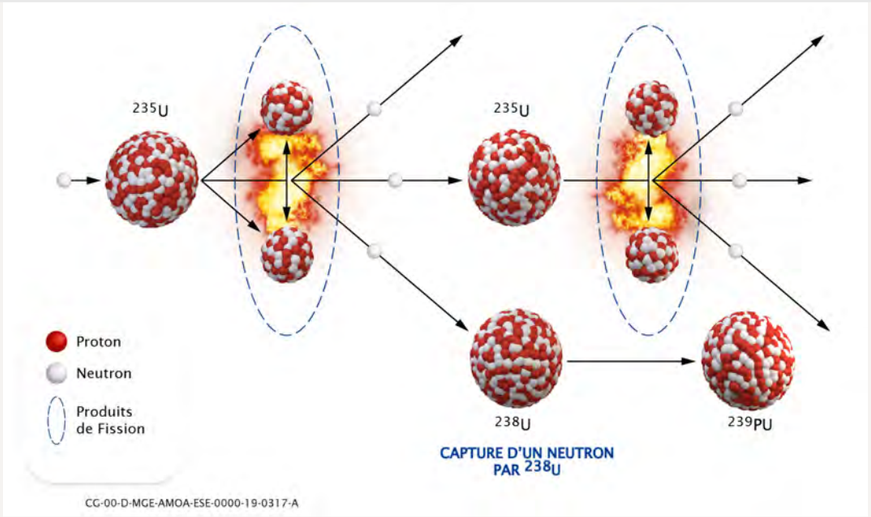


Figure 2-3 *Principe de la réaction nucléaire en chaîne de fission de noyaux d'235U et de la formation de 239Pu initiée par la capture d'un neutron par un atome d'238U*

2.2.3.2 Les radionucléides visés par la transmutation

La transmutation est nécessairement précédée d'une étape de séparation, d'une part des radionucléides à transmuter, d'autre part des autres éléments chimiques auxquels ils sont mélangés dans les déchets. Cette étape est plus ou moins complexe selon la nature des déchets et des radionucléides et éléments à séparer. Elle fait appel, soit à des procédés chimiques (après dissolution des déchets) du même type que ceux des usines Orano de La Hague pour le traitement des combustibles usés[29], soit à des procédés pyrochimiques qui restent à développer sur le plan industriel[30].

Actuellement, les seuls procédés industriels de séparation opérationnels dans le secteur nucléaire permettent de récupérer et de purifier le plutonium, l'uranium et l'américium. Des procédés ont été étudiés pour séparer industriellement les autres actinides (curium et neptunium). Leur mise en œuvre industrielle nécessiterait de construire de nouvelles installations du type de celles de l'usine Orano de La Hague. L'expérience industrielle de la séparation chimique des actinides, leurs rendements potentiels de transmutation (cf. Chapitre 2.2.3.3 du présent volume) et leur dangerosité élevée (toxicité, vie longue, criticité, émission de rayonnements ionisants) désignent les actinides comme des radionucléides particulièrement intéressants pour la transmutation.

La transmutation des produits de fission à vie longue (^{129}I, ^{99}Tc, ^{135}Cs) est également théoriquement possible. Toutefois, sa mise en œuvre industrielle est encore plus complexe que celle des actinides. En effet, les produits de fission ont des rendements théoriques de transmutation relativement faibles et ils peuvent poser des problèmes de corrosion en fonction de leur nature chimique. À ce jour, la transmutation n'apparaît donc pas applicable à l'ensemble des radionucléides à vie longue. De plus, avant d'entreprendre leur transmutation, il faudrait non seulement les séparer des autres éléments présents dans les déchets, mais également de leurs propres isotopes stables ou à vie courte. Dans le cas du césium, le ^{135}Cs, à période de décroissance longue, devrait ainsi être séparé[31] du ^{133}Cs stable et des ^{134}Cs et ^{137}Cs, à courte durée de décroissance. Si certaines techniques de laboratoire laissent envisager la possibilité de séparer physiquement des quantités microscopiques d'isotopes de produits de fission[32], ce type de séparation n'a jamais été mise en œuvre à l'échelle industrielle et elle apparaît très complexe.

En l'état actuel des connaissances, la transmutation ne s'applique pas aux produits d'activation, c'est-à-dire aux radionucléides créés, en particulier au cœur des réacteurs nucléaires, par l'irradiation prolongée des matériaux par des neutrons[33]. Certains produits d'activation à vie longue sont présents dans les déchets radioactifs (^{14}C, ^{36}Cl, ^{59}Ni…). La séparation sélective de ces radionucléides et leur transmutation présentent les mêmes difficultés que celles des produits de fission. Leur mise en œuvre industrielle n'apparaît pas envisageable sur la base des technologies connues.

2.2.3.3 Les solutions potentielles pour la transmutation

Les centrales nucléaires actuellement en service en France pour la production d'électricité (cf. Chapitre 1.2.2 du présent volume) peuvent transmuter uniquement certains isotopes de l'uranium et du plutonium[34]. La transmutation de plutonium et d'uranium y est, de fait, déjà partiellement réalisée, par l'utilisation de combustibles nucléaires issus du retraitement (MOX). Des études et recherches sont en cours pour évaluer la capacité de ce type de centrale pour transmuter l'ensemble du stock de plutonium (multi-recyclage du plutonium), le cas échéant, en renouvelant le parc actuel de centrales. Ce multi-recyclage pourrait, théoriquement, consommer la quasi-totalité du plutonium produit, mais génèrerait en revanche une quantité plus importante d'actinides mineurs (neptunium, américium, curium).

Pour aller plus loin sur les possibilités de transmutation, les études et recherches françaises se sont fondées principalement sur une nouvelle génération de réacteurs nucléaires de la filière dite « à neutrons rapides » et refroidis au sodium. Ces études et recherches ont montré qu'une telle filière, associés à une séparation plus poussée que celle pratiquée dans l'usine Orano de La Hague, serait capable de transmuter le plutonium (y compris celui contenu dans les combustibles usés MOX actuellement entreposés) et, au prix d'une plus grande complexité, l'américium, voire le curium.

D'autres types de réacteurs à neutrons rapides sont étudiés dans le monde avec un objectif de transmutation des actinides. Outre des réacteurs refroidis par du gaz, du plomb fondu ou un mélange de plomb et de bismuth, on notera en particulier les réacteurs à sels fondus, par exemple des sels de fluorure de lithium (LiF) et de fluorure de béryllium (BeF_2)[35]. Dans ces derniers, une séparation pyrochimique s'effectuerait sur le site même du réacteur, en « ligne » avec la réaction nucléaire, sans recours à des usines de séparation et de fabrication de combustible. Les réacteurs à sels fondus permettraient la transmutation d'actinides mineurs et de plutonium, réduisant le volume de déchets HA et MA-VL et leur dangerosité. Néanmoins, quand bien même cette technologie serait mise au point, elle ne permettrait pas, comme toutes les solutions de transmutation de fournir une solution de gestion à long terme pour l'ensemble des déchets radioactifs HA/MA-VL. D'autres études et recherches portent sur des systèmes dits « hybrides » comportant un réacteur nucléaire associé à un dispositif externe apportant un flux complémentaire de neutrons pour entretenir la réaction nucléaire. Plusieurs principes techniques sont considérés pour ce dispositif externe. Le plus avancé, proposé notamment par le Professeur Carlo Rubbia (prix Nobel de physique en 1984)[36], associe un accélérateur de protons et une cible de spallation[37]. Ce principe est prévu d'être expérimenté dans le cadre du projet MYRRHA[38] conçu en Belgique par le SCK·CEN[39] en coopération internationale (cf. Figure 2-4).

29 Procédé PUREX pour « *Plutonium and uranium refining by extraction* ».
30 La pyrochimie consiste à utiliser de manière complémentaire un procédé à haute température, par exemple un bain de sels fondus, et des techniques séparatives, par exemple des systèmes d'électrodes, pour isoler sélectivement certains éléments chimiques.
31 La séparation isotopique est actuellement pratiquée industriellement sur l'uranium dans l'usine d'enrichissement Georges Besse II sur le site nucléaire Orano du Tricastin (Drôme).
32 Techniques utilisant des lasers, des champs magnétiques et des plasmas.
33 Les produits d'activation sont des radionucléides formés au sein même d'un matériau à partir d'isotopes non-radioactifs présent initialement dans ce matériau et qui, dans certaines conditions d'irradiation, sont susceptibles de « capturer » des neutrons et de se transformer en isotopes radioactifs.
34 Les centrales nucléaires en service utilisent des réacteurs à eau pressurisée dans lesquels les neutrons sont ralentis (modérés) par l'eau de refroidissement.
35 Le combustible de ces réacteurs se trouve sous forme liquide, dissoute dans des sels de chlorure ou de fluorure, et joue le rôle de caloporteur.
36 Ce prix est partagé avec Simon van der Meer pour leurs travaux sur les particules W et Z.
37 La spallation est une réaction nucléaire à haute énergie dans laquelle un noyau-cible frappé par une particule incidente émet un jet de particules plus légères et produit un noyau dont la masse est en général comparable à celle du noyau d'origine. Le carbone 14 est ainsi produit naturellement par spallation de l'azote dans la haute atmosphère sous l'effet des rayonnements cosmiques.
38 MYRRHA pour « *Multi-purpose hybrid Research Reactor for High-tech Applications* ». Le caloporteur envisagé pour MYRRHA est un mélange de plomb et bismuth.
39 Centre d'étude de l'énergie nucléaire.

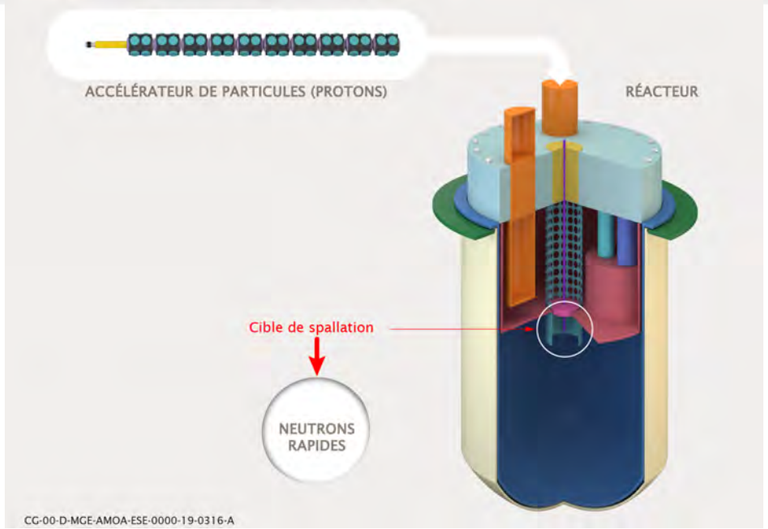


Figure 2-4 *Schéma de principe d'un système hybride associant un accélérateur de particules et un réacteur*

Une autre alternative pour la production des neutrons consiste à utiliser un tokamak[40], installation du type du réacteur expérimental de fusion ITER en construction à Cadarache.

De manière encore plus exploratoire, une fusion nucléaire deutérium-tritium[41] utilisant un laser de très forte puissance est envisagée comme source indirecte de neutrons. Ces lasers bénéficieraient des derniers développements issus des recherches notamment du Professeur Gérard Mourou[42] (prix Nobel de physique en 2018 avec Donna Theo Strickland et Arthur Ashkin). Le laser est une piste de recherche imaginée pour réduire la dangerosité de certains radioéléments à vie longue. Toutefois, aujourd'hui, cette technologie n'en est encore qu'au stade des études en laboratoire et le procédé est loin d'être opérationnel. Le passage à l'échelle industrielle, *a fortiori* dans un environnement nucléaire, est un processus long et complexe. Il n'y a aucune garantie de parvenir au stade l'industrialisation. De plus, en l'état actuel des recherches, la transmutation, même initiée par laser, ne semble pas applicable à l'ensemble des déchets et en particulier aux déchets HA et MA-VL déjà produits. Lors de sa rencontre avec l'Andra en 2019, le Professeur Mourou a d'ailleurs déclaré « *La transmutation de déchets radioactifs et le stockage Cigéo sont des solutions clairement complémentaires » (51).* Partant des progrès en matière de lasers de très forte puissance, une autre piste évoquée éviterait même la production externe de neutrons. Il s'agit d'une transmutation par photofission. Dans cette réaction nucléaire, le noyau atomique à transmuter est excité par interaction avec des photons à haute énergie (gamma ou X). Cette technique a permis la transmutation en laboratoire d'uranium, de thorium et d'iode (47). Dans tous les cas, des défis scientifiques et technologiques majeurs resteraient à surmonter pour mettre en œuvre cette technologie qui n'en est qu'aux prémices de son développement.

[40] Le tokamak (du russe *тороидальная камера с магнитными катушками*, chambre toroïdale avec bobines magnétiques) est un réacteur permettant de créer et de confiner un plasma de fusion grâce à des champs magnétiques intenses.

[41] La réaction de fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium pour former un noyau d'hélium produit une grande quantité d'énergie et un neutron libre.

[42] Laser amplifié par dérive de fréquence « *Chirped Pulse Amplification* ».

[43] À cet égard, s'il est à juste titre considéré que la filière des réacteurs de fusion présente l'intérêt de ne pas produire de déchets de haute activité (HA), le réacteur ITER produit des déchets notamment MA-VL qui sont comptabilisés dans l'Inventaire national publié par l'Andra.

2.2.3.4 Les limites des techniques de la transmutation pour la gestion des déchets

Au stade actuel, la transmutation totale des radionucléides à vie longue n'est pas maîtrisée du point de vue scientifique et technologique. Elle correspond encore plutôt à une piste de recherches. Elle n'a été réalisée que sur de petites quantités de matières et n'a pas été industrialisée. Une mise en œuvre opérationnelle nécessiterait de lever divers verrous technologiques en matière de séparation et de fonctionnement des réacteurs et des autres dispositifs nécessaires à la transmutation.

La mise en œuvre industrielle de la transmutation nécessiterait un effort substantiel pour la construction d'un parc complet de réacteurs nucléaires dédiés et de ses installations supports pour séparer les radionucléides à transmuter, préparer les combustibles des réacteurs, traiter et conditionner les nouvelles substances radioactives produites. Les transports de substances radioactives entre les différentes installations seraient nombreux. Au-delà des difficultés techniques et de l'impact environnemental de la construction, du fonctionnement et du démantèlement de ces installations nucléaires, la mise en place d'une telle filière industrielle est un pari sur l'avenir qui ne peut pas être garanti compte tenu notamment des incertitudes socio-politiques et économiques pesant sur le choix d'un recours durable aux activités nucléaires. De plus, certains systèmes de transmutation présentent peu d'intérêt pour la production d'énergie compte tenu de leurs coûts élevés et de leur faible bilan énergétique (différence entre l'énergie qu'ils produisent et celle nécessaire à leur fonctionnement, en particulier les dispositifs externes de production de neutrons et les lasers de très forte puissance).

En outre, faisant appel à des réactions nucléaires, les procédés de transmutation, quels que soit les types envisagés, produisent eux-mêmes des déchets radioactifs[43]. Les déchets qui seront produits par la filière de transmutation sont donc *a minima* des déchets MA-VL[44], mais aussi des déchets HA issus du fonctionnement des réacteurs nucléaires. L'éventuelle filière de transmutation devra donc nécessairement être adossée à une filière de gestion des nouveaux déchets radioactifs qu'elle produirait, dont les caractéristiques physiques et les quantités ne peuvent pas être bien cernées à ce stade. On peut considérer en première approximation que leur quantité serait du même ordre que celles de l'inventaire de référence actuel (cf. Chapitre 1.3 du présent volume).

Par ailleurs, la transmutation ne semble pas applicable en l'état actuel des recherches aux déchets HA et MA-VL déjà produits. Dans le cas des déchets HA, ceux-ci ont été vitrifiés pour réduire durablement les risques de dispersion des radionucléides qu'ils contiennent. La séparation préalable à toute transmutation nécessiterait donc de très lourdes étapes de dévitrification et de traitement[45]. Avec les techniques et les installations actuelles, l'extraction des radionucléides des déchets HA vitrifiés est quasiment inenvisageable. Il en va de même des déchets MA-VL, conditionnés notamment par compactage ou cimentation. L'extraction des radionucléides à vie longue qu'ils contiennent serait très complexe compte tenu de leur grande variété et de leur volume très important. Elle est quasi-inenvisageable physiquement pour les déchets activés. Ainsi l'éventuelle transmutation n'est pas capable, à elle-seule, de gérer l'ensemble des déchets HA et MA-VL existants de manière définitive. Elle serait nécessairement adossée à une filière de gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel. L'ASN a confirmé ce point en indiquant que, même en cas de mise en œuvre de la transmutation, l'élimination des déchets HA « *ne sera pas totale. Une autre solution de référence est nécessaire (49)* ».

En termes de risques, les réacteurs de transmutation, comme tous les réacteurs nucléaires, sont susceptibles d'entraîner des conséquences importantes en cas d'accident grave pendant leur fonctionnement. Leur capacité à garantir une mise en sécurité définitive des déchets radioactifs dépend en fait, non pas de leur fonctionnement propre, mais de la mise en œuvre de la filière de gestion des déchets actuels non-transmutés et de la filière suivante de gestion des déchets produits par la transmutation. En cas de non-mise en œuvre de ces filières ou de perte de contrôle institutionnel (crise, guerre, abandon…) sur la durée prolongée du fonctionnement de la filière suivante, les conséquences pourraient être très importantes.

[44] Le fonctionnement, la maintenance et le démantèlement des réacteurs de transmutation produirait nécessairement des déchets, soit contaminés par des radionucléides à vie longue, soit activés par les neutrons. L'activation est liée à la capture des neutrons d'un réacteur par des atomes non radioactifs présents dans les matériaux au voisinage. Ces atomes sont dénommés « produits d'activation ». Certains présentent une période de décroissance longue.

[45] Les études ont montré la très grande résistance du verre à toute forme d'attaque chimique ou physique. C'est d'ailleurs la raison initiale du choix de ce matériau pour confiner efficacement les radionucléides.

LES CONCLUSIONS DE L'ASN RELATIVES A LA SÉPARATION/TRANSMUTATION DANS SON AVIS DU 1ER FEVRIER 2006 RELATIF AUX RECHERCHES MENÉES DANS LE CADRE DE LA LOI DU 30 DECEMBRE 1991

« L'ASN considère que la faisabilité technologique de la séparation et de la transmutation n'est pas acquise à ce jour. Même en cas de mise en œuvre d'une telle solution, l'élimination des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue ne sera pas totale. Une autre solution de référence est nécessaire ».

L'ASN a par ailleurs émis un autre avis sur la séparation/transmutation le 4 juillet 2013 (52) qui complète son évaluation : « *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. […]. En conséquence, l'ASN considère que les possibilités de séparation et de transmutation des éléments radioactifs à vie longue ne devraient pas constituer un critère déterminant pour le choix des technologies examinées dans le cadre de la quatrième génération.* »

Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN rappelle que « *les perspectives de transmutation à une échelle industrielle des déchets déjà conditionnés de l'inventaire de référence de Cigéo ne sont pas crédibles* ».

2.2.4 L'envoi des déchets dans l'espace

L'envoi des déchets radioactifs dans l'espace permettrait de les éloigner définitivement des Hommes et de l'environnement. Cette technique a fait l'objet d'évaluations relativement détaillées aux États-Unis dans les années 1970 (Nasa) en se fondant notamment sur le développement de la navette spatiale[46]. Diverses possibilités de destination ont été envisagées dans ces études, notamment la surface de la Lune et une orbite autour du Soleil. L'évacuation hors du système solaire[47] a été évoquée par certains chercheurs.

L'envoi dans l'espace nécessite de disposer d'engins aérospatiaux (fusées, navettes…) adaptés aux niveaux d'activité des déchets et à leur dangerosité. Compte tenu des volumes de déchets déjà produits, cette technique imposerait un nombre conséquent de lancements. En pratique, son coût la limiterait à des déchets HA non vitrifiés pour réduire autant que possible les masses impliquées. Les études l'ont exclue pour les autres déchets qui représentent des masses trop importantes (plusieurs dizaines de milliers de tirs seraient nécessaires à l'échelle mondiale). Ainsi, l'envoi dans l'espace n'est pas capable, à lui-seul, de gérer l'ensemble des déchets HA et MA-VL existants de manière définitive.



Figure 2-5 Lanceur spatial de forte capacité

Outre son coût[48], le principal frein au développement de l'envoi des déchets dans l'espace tient aux niveaux de fiabilité des lancements spatiaux[49] et aux conséquences potentielles pour le public et l'environnement en cas d'échec d'un tir et de retombées des résidus radioactifs sur terre. À l'heure actuelle, la fiabilité d'un lanceur, bien que jugée importante est suffisante pour l'envoi d'astronautes dans l'espace. En revanche, le risque résiduel reste trop important pour l'envoi dans l'espace de déchets radioactifs, cette fiabilité étant très inférieure à celle d'une installation nucléaire (de plusieurs ordres de grandeurs).

Par ailleurs, l'impact environnemental de ces lancements n'a pas été examiné à l'époque de ces études et l'utilisation de l'espace pose des questions de droit international à l'instar de l'utilisation des mers (cf. Chapitre 2.2.5 du présent volume). L'ensemble de ces enjeux ont conduit à écarter l'option de l'envoi dans l'espace au moyen d'engins aérospatiaux.

Le principe d'un ascenseur spatial, potentiellement plus sûr et mieux adapté à de lourdes charges, a été évoqué depuis les années 1950 en substitution aux fusées. Son principe consiste à tendre un câble entre la terre et un satellite. Ce câble servirait de support-guide à des cabines. Une fois parvenus à l'extrémité de l'ascenseur, les déchets devraient encore être propulsés hors de la cabine et plus loin dans l'espace. Malgré les développements actuels et ceux imaginables à l'avenir, notamment dans le domaine des matériaux, l'ascenseur spatial n'a pas de perspective concrète de mise en pratique et relève encore de la science-fiction.

[46] La navette spatiale américaine a été conçue à partir du début des années 1970. Son vol inaugural eut lieu en avril 1981 et son retrait du service en juillet 2011. 135 vols ont été effectués au total. Deux accidents ayant conduit à la perte de deux des cinq engins opérationnels et à celle de leurs équipages sont survenus (*Challenger* en 1986 et *Columbia* en 2003).

[47] Sans cibler particulièrement des trous noirs, ce qui n'aurait pas de sens en termes de distance-temps.

[48] Le coût de mise sur orbite d'un satellite est de l'ordre de 10 000 €/kg à 50 000 €/kg.

[49] Ariane 4 a par exemple connu trois échecs pour 116 lancements.

2.2.5 L'évacuation des déchets dans les fonds marins et dans les calottes glacières

2.2.5.1 L'immersion dans les océans

Des campagnes d'immersion de déchets ont été réalisées entre 1946 et 1993 par 14 pays sur plus de 80 sites situés dans les océans Pacifique, Atlantique et Arctique.

Les déchets radioactifs immergés se présentaient sous deux formes :

- des déchets liquides, directement déversés dans les océans sur des sites dédiés ou rejetés en conteneurs, mais non solidifiés ;
- des déchets solides non conditionnés ou conditionnés dans des fûts métalliques après incorporation dans du béton ou du bitume.

Seuls l'ex-URSS et les États-Unis ont immergé d'autres types de déchets radioactifs, notamment des cuves de réacteurs nucléaires contenant encore, pour certaines, du combustible.

La France a pris part à deux opérations expérimentales d'immersion coordonnées par l'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE en 1967 et en 1969. En parallèle, en 1965, elle a fait le choix d'ouvrir un centre de stockage de surface, qui a abouti en 1969 avec la mise en service du le Centre de stockage de la Manche (CSM), exploité par l'Andra jusqu'en 1994 et aujourd'hui en phase de démantèlement.

LES DÉCHETS IMMERGÉS PAR LA FRANCE (SOURCE : INVENTAIRE NATIONAL DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS)

L'activité radioactive totale des déchets immergés dans le monde entre 1946 et 1993 était de 85 000 téra becquerels (TBq) à la date de leur immersion.

Les déchets radioactifs immergés par la France lors des campagnes coordonnées par l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN), représentaient une activité totale d'environ 350 TBq à la date de leur immersion.

Les déchets liés aux expérimentations nucléaires françaises dans le Pacifique (déchets des expérimentations et du démantèlement des installations) ont été stockés sur place dans des puits ou immergés. Leur activité représentait une activité inférieure à 0,1 TBq au moment de leur immersion.

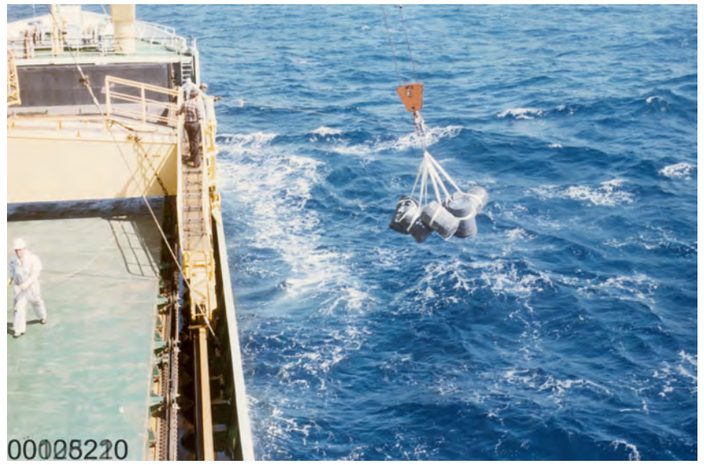


Figure 2-6 Campagne d'immersion de déchets radioactifs en mer dans les années 1960

Depuis 1993, toute immersion de déchets radioactifs est définitivement interdite par le droit international. Cette interdiction a constitué une application concrète de la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, entrée en vigueur dès 1972 (53).L'enfouissement dans les sédiments marins.

Pour les déchets les plus dangereux, particulièrement les déchets HA, des études et recherches ont été menées sur leur enfouissement dans les formations sédimentaires au fond des océans (« *sub seabed disposal* »).

Une option particulièrement étudiée consiste à les placer dans des conteneurs en forme d'ogive (« pénétrateurs »), capables, après avoir été lâchés à la surface de l'eau, d'atteindre le fond et de pénétrer à l'intérieur des sédiments. Avec le dépôt progressif de nouveaux sédiments au fond de l'océan, la profondeur d'enfouissement augmente ensuite régulièrement (cf. Figure 2-7).

Une autre option consiste à réaliser des forages sous-marins profonds dans les sédiments à l'aide de techniques inspirées de l'exploitation pétrolière, puis d'y treuiller les déchets avant de sceller les forages (cf. Figure 2-7).

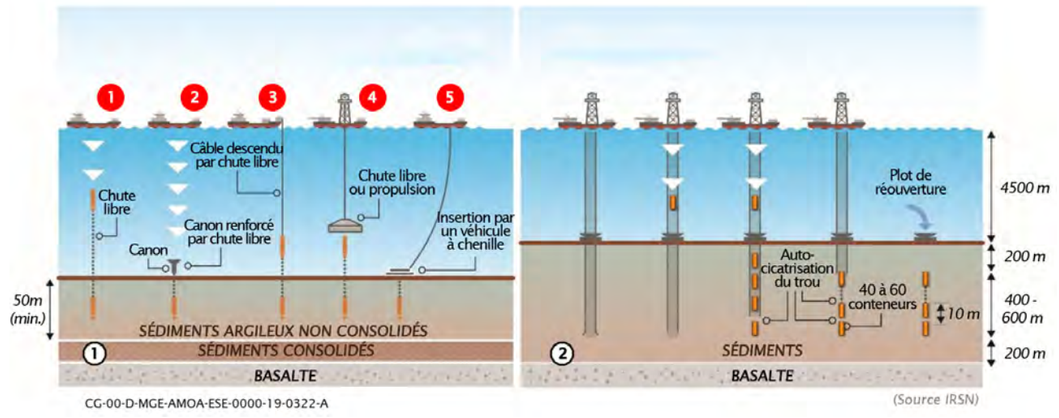


Figure 2-7 Principes de deux concepts d'enfouissement de déchets dans les sédiments des fonds sous-marins (47)

S'agissant d'une forme de gestion océanique, ce concept n'est plus permis par le cadre fixé par la Convention de Londres (53). Une révision de cette convention internationale ne semble pas envisageable à ce jour.

2.2.5.2 L'utilisation de la tectonique des plaques

La surface de la terre est découpée à la manière d'un puzzle en une mosaïque de plaques tectoniques en mouvement les unes par rapport aux autres. Ces mouvements sont notamment à l'origine de phénomènes volcaniques et de séismes. Lorsqu'une plaque océanique plonge sous une autre et s'enfonce vers le manteau terrestre, elle crée une zone de « subduction ».

La réalisation de forages sous-marins dans une plaque océanique, à proximité d'une zone de subduction (cf. Figure 2-8), a été imaginée. Il s'agirait ensuite d'y descendre les colis de déchets depuis un bateau de forage au moyen d'un treuil. En plongeant sous une autre plaque, océanique ou continentale, la plaque d'accueil entrainerait très progressivement les déchets vers le manteau terrestre.

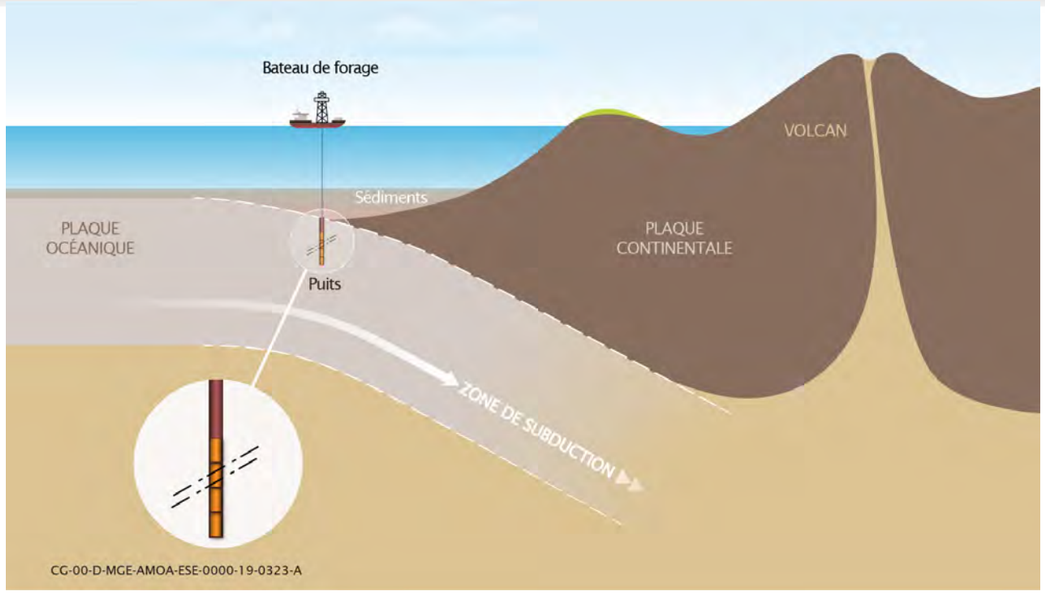


Figure 2-8 Principe de stockage de déchets radioactifs dans une zone de subduction

Ce concept présente plusieurs limites techniques qui en réduisent fortement la faisabilité :

- le mécanisme de subduction est très lent. En pratique, ce n'est qu'après plusieurs dizaines de milliers d'années ou plus que les déchets se retrouveraient profondément enfouis dans le manteau ;
- si les forages sous-marins n'atteignent pas le substratum basaltique mais s'arrêtent dans les sédiments sus-jacents, on ne peut exclure qu'au niveau de la zone de subduction les déchets se retrouvent dispersés dans les sédiments, voire dans l'eau plutôt que d'être entrainés vers le manteau ;
- il conviendrait enfin de s'assurer que le volcanisme associé à la subduction ne risquerait pas de ramener une part de la radioactivité des déchets en surface.

S'agissant d'une forme de gestion océanique, ce concept n'est plus permis par le cadre fixé par la Convention de Londres (53). Une révision de cette convention internationale ne semble pas envisageable à ce jour.

2.2.5.3 L'utilisation des calottes polaires

L'utilisation des calottes polaires pour isoler des déchets HA a aussi été envisagée, partant du constat que ces calottes ont été capables de piéger et de conserver des gaz, des radionucléides et des particules atmosphériques sur plusieurs centaines de milliers d'années. La chaleur dégagée par les colis de déchets HA pourrait être mise à profit pour fondre la glace localement et permettre aux colis de s'enfoncer progressivement au sein de l'épaisseur du glacier.

Les risques de réchauffement climatique actuellement identifiés remettent en question la durabilité de cette option. Par ailleurs, elle est incompatible avec les traités internationaux, notamment le Traité du 1er décembre 1959 sur l'Antarctique (54).

2.2.6 Le stockage des déchets dans le milieu géologique continental

2.2.6.1 Le principe du stockage géologique

Le stockage géologique consiste à placer les colis de déchets radioactifs dans des ouvrages construits dans le sous-sol continental, 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 mettent les déchets à l'abri des perturbations d'origine naturelle (intempéries, érosion, inondation, désertification…) et humaine (chantiers, destruction, pillage, agressions…) ayant lieu à la surface. Les roches choisies sont souvent 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 lié aux mouvements tectoniques…). De plus, sur le continent, les propriétés des roches peuvent être étudiées de façon approfondies par des investigations depuis la surface et dans des laboratoires dédiés ;
- les propriétés et l'épaisseur de la formation géologique dans laquelle les déchets sont placés assurent le confinement sur de grandes échelles de temps, en complémentarité avec le conditionnement des déchets et la conception des ouvrages de stockage. En pratique, les substances radioactives et toxiques présentes dans les déchets sont contenues dans la roche et leur migration fortement ralentie. Si elles reviennent un jour au contact d'êtres vivants, ce sera dans des centaines de milliers d'années. Leur dangerosité aura été annihilée avec le temps par la décroissance radioactive et la dispersion[50]. Les circulations d'eaux souterraines sont le principal vecteur de transport de ces substances jusqu'à la biosphère. Dans un stockage, il est donc essentiel de choisir le site d'implantation et de concevoir les ouvrages de sorte à réduire au maximum le risque de circulation d'eau au contact des déchets ;
- la profondeur du stockage réduit l'éventualité d'une intrusion humaine involontaire, car des forages à de telles profondeurs sont 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 présentent aucun intérêt exceptionnel en termes de ressources naturelles 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, disparaissaient avec le temps, la probabilité d'intrusion humaine involontaire dans un stockage géologique serait 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 (cf. Chapitre 2.5.2 du présent volume).

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 (cf. Chapitres 1.2.3, 2.2 et 2.2.2 du présent volume).

À la fin de son remplissage, une fois que les déchets y ont tous été introduits, le stockage géologique est « fermé ». La fermeture consiste à démonter les équipements d'exploitation et à construire des ouvrages spécifiques, complémentaires de la barrière géologique (remblais de galeries, murs, scellements…), pour assurer le bon confinement des déchets sur de très grandes échelles de temps.

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 sont protégés des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets radioactifs, sans plus nécessiter d'action humaine (ventilation, maintenance…).

[50] Leur transfert à très long terme des substances dangereuses, depuis le stockage éventuellement jusqu'à la biosphère, mettrait en œuvre des phénomènes très lents de dissolution, de diffusion, de rétention et de migration dans de très grands volumes de roche qui garantissent que la teneur de ces substances dans l'environnement serait extrêmement faible et ne présenterait pas un danger pour les êtres vivants.

La mise en œuvre de tels dispositifs passifs est prévue par la directive européenne 2011/70/Euratom (11), elle-même fondée sur les recommandations de sûreté nucléaire de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Considérant que « *les déchets radioactifs (…) doivent être confinés et isolés durablement des êtres humains et de la biosphère* » (considérant 21), la directive prescrit que les politiques nationales des pays membres en matière de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs reposent notamment sur le principe suivant : « *le combustible usé et les déchets radioactifs sont gérés de manière sûre, y compris à long terme grâce à des dispositifs de sûreté passive* » (article n° 4-3-c).

Le stockage géologique répond complètement à l'objectif d'une gestion durable des déchets les plus dangereux telle que définie dans le code de l'environnement (article L. 542-1 du code de l'environnement). En effet, il répond au double objectif (cf. Chapitres 2.1 et 2.2.1 du présent volume) :

- d'éviter progressivement de mobiliser les générations futures pour gérer ces déchets, grâce au caractère passif des dispositions de protection ;
- de protéger durablement l'Homme et l'environnement, en isolant les déchets et en confinant durablement les substances dangereuses qu'ils contiennent.

Aucune des pistes visant à réduire la dangerosité des déchets ou à gérer les déchets dans l'espace ou dans les océans n'offre de perspectives réalistes pour gérer l'ensemble des déchets HA et MA-VL, que ce soit pour des raisons d'éthique, de faisabilité technique ou de possibilité juridique (cf. Chapitres 2.2.1 au 2.2.5 du présent volume). Aucune ne permet de se dispenser d'un stockage durablement passif (cf. Tableau de synthèse comparatif des modes de gestion des déchets HA et MA-VL au chapitre 2.2.7.6 du présent volume).

À l'inverse, plusieurs concepts techniques sont accessibles pour mettre en œuvre le stockage géologique. Ils mettent en jeu différents types de roches (socle cristallin, granite, sel, argile…) et différentes techniques (forages, techniques minières…). Ces concepts sont décrits à la suite du présent chapitre. Compte tenu de leur état de maturité et de leurs avantages techniques, ils apparaissent incontournables en matière de gestion durable des déchets les plus dangereux.

2.2.6.2 Le stockage en forages très profonds

Comme le montrent les éléments présentés dans les chapitres suivants, outre que la démonstration de sûreté ne soit pas acquise à ce jour, compte tenu notamment des incertitudes sur la maitrise du comportement des déchets et des radionucléides aux profondeurs de plusieurs kilomètres envisagés, le principal inconvénient du stockage dans des forages très profonds réside dans l'incapacité de ce dispositif à être réversible. Une fois que les colis y sont stockés, il devient rapidement impossible, ou très difficile, d'aller les en retirer. Ne pouvant pas être étudiés au moyen d'un laboratoire souterrain et ne pouvant pas garantir la réversibilité, ils ne constituent pas des modes de gestion acceptables pour le stockage des déchets HA et MA-VL car ils ne répondent pas à ces deux exigences du code de l'environnement (article L. 542-10-1).

2.2.6.2.1 Le stockage en forages très profonds verticaux dans le socle cristallin

Le stockage par forages très profonds dans le « socle cristallin » a pour objectif de stocker les déchets dans des roches très anciennes (parfois jusqu'à 600 millions d'années ou plus), dures, sur lesquelles reposent éventuellement des couches plus récentes formées par des dépôts sédimentaires.

Ce concept de stockage repose sur l'absence théorique d'échange entre les eaux souterraines reliées à la biosphère[51] et le socle cristallin très profond. Des conditions géologiques appropriées sont nécessaires à sa mise en œuvre. Elles concernent, d'une part l'épaisseur du socle et celle de l'éventuelle couverture sédimentaire au-dessus du socle, d'autre part les caractéristiques géologiques locales du socle lui-même[52].

Pour atteindre le socle cristallin, des forages verticaux très profonds sont réalisés depuis la surface (5 kilomètres de profondeur environ). Les colis de déchets sont descendus par treuillage dans les forages, où ils sont empilés, potentiellement sur de grandes hauteurs, pouvant, par exemple, aller jusqu'à 2 kilomètres (cf. Figure 2-9).

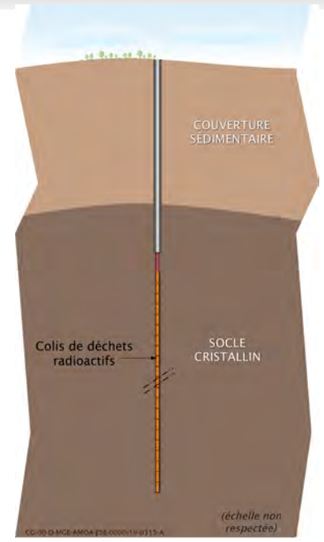


Figure 2-9 Principe du stockage en forages profonds verticaux dans le socle cristallin

Le socle cristallin étant présent partout dans le sous-sol (mais à des profondeurs variables), ce concept a l'avantage, dans son principe, de permettre le stockage des colis dans des forages creusés au plus près des installations d'entreposage actuelles. Sous réserve de sa faisabilité et de sa démonstration de sûreté, restant à acquérir, le concept permettrait ainsi de limiter le nombre de sites à nucléariser et réduirait au maximum les transports de substances radioactives sur la voie publique. L'impact environnemental de son creusement et de son fonctionnement serait en théorie modéré et les conséquences sur la santé et l'environnement en cas d'accident seraient faibles comptes tenus de la grande profondeur séparant les colis affectés et la biosphère.

La maturité technique du concept de stockage en forages profonds dans le socle cristallin ne permet pas encore sa mise en œuvre industrielle pour les colis de déchets HA et pour les colis de déchets MA-VL.

Si le forage et la descente par treuillage de colis de déchets semblent techniquement réalisables (55), la capacité à se prémunir du risque de chute ou de coincement durant leur descente reste à vérifier.

Par ailleurs, le diamètre des forages reste encore trop limité. Les meilleures technologies disponibles permettent d'envisager des diamètres allant jusqu'à 400 mm environ, ce qui est trop petit pour laisser passer des colis de déchets HA[53]. Même en imaginant que les progrès en matière de forages permettent un jour d'y descendre les colis HA actuels et certains colis de déchets MA-VL (environ 35 % des colis MA-VL ont une géométrie similaire à celle des colis HA), les colis MA-VL les plus volumineux et les plus lourds ne sont pas adaptés à ce mode de stockage. En effet, les colis MA-VL les plus encombrants de l'inventaire de référence actuel peuvent atteindre 5 m^3 et peser jusqu'à environ 10 tonnes. Pour ce type d'objet, la construction de puits et le treuillage sont inenvisageables.

En l'état actuel des connaissances, les forages profonds ne sont donc pas capables de prendre en charge tous les colis de déchets. Ce mode de gestion serait donc forcément adossé à une autre installation de stockage, creusée par des techniques minières classiques, pour les colis MA-VL les plus volumineux et les plus lourds.

Une fois les colis placés dans le forage, son mode de fermeture nécessite encore des travaux de recherche et de développement importants. La capacité à le sceller de façon hermétique est en effet cruciale pour éviter les perturbations[54] et éviter toute migration verticale des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets.

[51] Les eaux du système hydraulique souterrain reliées à la biosphère peuvent arriver naturellement à la surface et rentrer au contact direct des êtres vivants ou être pompées par l'homme qui les exploite comme une ressource.
[52] Fracturation, contexte tectonique

[53] Le diamètre du colis de déchets HA tel qu'aujourd'hui entreposé à La Hague est de 430 mm. À ce diamètre doit être ajouté *a minima* un jeu de manutention pour permettre le treuillage dans le forage, ainsi que l'épaisseur d'un conteneur : le conteneur étudié par l'Andra pour le projet global Cigéo a un diamètre externe de 570 mm.
[54] Un gradient de salinité important doit être éviter le long du forage.

Par ailleurs, si ce concept a le mérite d'interposer une grande distance entre les déchets et l'environnement (cinq à dix fois supérieure à celle d'un stockage géologique conventionnel, (cf. Chapitre 2.2.6 du présent volume), il pose des questions fondamentales liées aux connaissances géologiques limitées disponibles sur le socle cristallin profond (effet des fortes températures, pression et salinité régnant à très grande profondeur…)[55]. L'acquisition de connaissances appropriées à sa démonstration de sûreté à long terme nécessiterait des recherches longues et complexes. De plus, s'agissant de la sûreté en fonctionnement, le concept rend très difficile la surveillance des colis stockés en raison d'une part de l'exiguïté des forages, d'autre part des difficultés à implanter et à maintenir des dispositifs de mesures dans un tel environnement. Cette absence de surveillance pourrait rendre très difficile la démonstration de sûreté de ce type d'installation pendant leur fonctionnement, voire être considérée comme rédhibitoire.

De plus, le stockage en forages profonds dans le socle cristallin n'est pas compatible avec le contexte réglementaire français actuel fixé par le code de l'environnement :

- le socle cristallin profond ne peut pas être étudié directement par un laboratoire souterrain, alors que ce type d'étude est exigée par le code de l'environnement. En effet, au-delà de plusieurs kilomètres de profondeur, les conditions d'environnement (chaleur, pression, distance de la surface) ne permettent plus de construire et d'exploiter une installation de recherche (conditions inacceptables pour le travail du personnel et pour le fonctionnement des équipements). Le socle cristallin peut uniquement être étudié au moyen de forages. Cela limite les possibilités d'acquisition de connaissances et ne permet pas d'essais de vérification *in situ*, alors même que la réussite du concept est fortement liée aux conditions géologiques locales ;
- le stockage en forages très profonds est irréversible, alors que le code de l'environnement exige la réversibilité du stockage en couche géologique profonde. Les contraintes mécaniques s'exerçant sur un forage de plusieurs kilomètres et les déformations attendues réduisent rapidement son diamètre. Les colis n'ont plus la place pour être treuillés hors du stockage. De plus, aucune surveillance de l'état des colis stockés n'est réellement envisageable. Le retrait des colis devient donc rapidement impossible. Il ne permet pas de débuter par une phase de développement progressive et complètement réversible, du type de la phase industrielle pilote développée pour le centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 4.2 du présent volume).

En conclusion, le stockage en forages verticaux profonds dans le socle cristallin n'a pas la maturité technologique suffisante pour être mis en œuvre industriellement. Des avancées scientifiques et technologiques très importantes sont encore nécessaires pour son développement et pour démontrer qu'il a capacité à confiner efficacement les déchets. En l'état actuel des connaissances, il ne semble pas applicable aux déchets MA-VL les plus volumineux et les plus lourds. Ne pouvant pas être étudié au moyen d'un laboratoire souterrain et ne pouvant pas garantir la réversibilité, il ne constitue pas un mode de gestion acceptable pour le stockage des déchets HA et MA-VL car il ne répond pas à ces deux exigences du code de l'environnement (article L. 542-10-1).

DES FORAGES SOUS LES VOLCANS

Un concept alternatif au stockage en forages profonds dans le socle cristallin a aussi pu être évoqué. Il s'agirait d'utiliser des forages profonds pour introduire les déchets dans des chambres magmatiques situées dans la croûte terrestre. Cependant, même si les difficultés technologiques pouvaient être aplanies, un tel concept ne rend pas le service attendu. En effet, la circulation magmatique dans un volcan est montante. La radioactivité des déchets risque donc d'être relâchée dans l'environnement *via* la lave et les gaz dégagés lors des éruptions[56].

[55] En particulier, les niveaux de température attendus de situent en dehors de la plage dans laquelle le comportement des radionucléides dissous dans l'eau est connu et contrôlé.

2.2.6.2.2 Le stockage en forages très profonds verticaux dans un dôme de sel

Une variante des forages très profonds verticaux dans le socle cristallin est étudiée en Allemagne. Elle consiste à réaliser des forages très profonds verticaux dans un dôme de sel dit « diapir » (cf. Figure 2-10).

Ce concept est lié à la présence de grandes quantités de sel dans le sous-sol allemand, notamment au nord-est du territoire. Les forages verticaux sont adaptés à la géométrie verticale de ce type particulier de formation géologique. Le confinement repose sur la quasi-imperméabilité du sel à l'eau (cf. Chapitre 2.2.6.3.1 du présent volume).

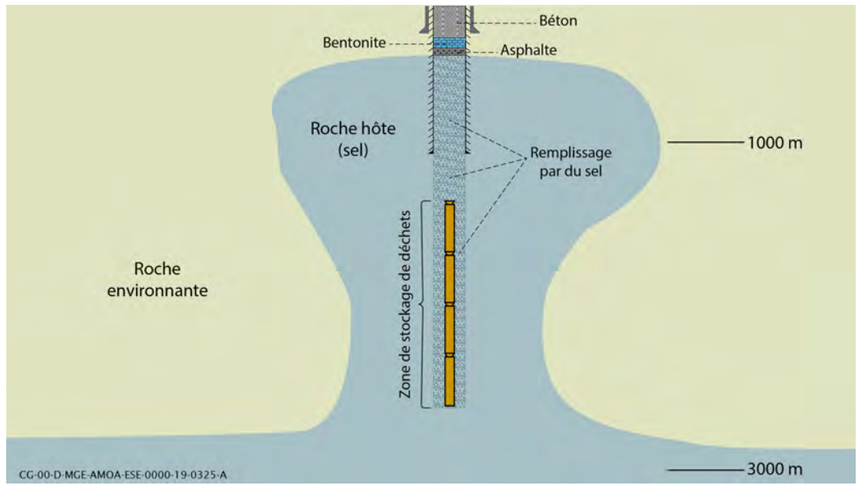


Figure 2-10 Principe du stockage en forages profonds verticaux dans le sel (56)

Ce concept pose des difficultés analogues au stockage en forages très profonds verticaux dans le socle cristallin en termes de sûreté des opérations de treuillage, de limitation des tailles de colis concernés et de difficultés de retrait (cf. Chapitre 2.2.6.2.1 du présent volume). Il ne permet pas de mettre en place une stratégie de développement progressive et réversible, de type de la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitres 2.2.6.2.1 et 4.2 du présent volume). Ne pouvant pas être étudié au moyen d'un laboratoire souterrain et ne pouvant pas garantir la réversibilité, il ne constitue pas un mode de gestion acceptable pour le stockage des déchets HA et MA-VL car il ne répond pas à ces deux exigences du code de l'environnement (article L. 542-10-1).

[56] Il est à noter que la température du magma n'est pas nécessairement suffisante pour fondre certains constituants des déchets.

2.2.6.2.3 Le stockage en forages très profonds dirigés en formations sédimentaires

Dans le même esprit que les stockages en forages très profonds verticaux (cf. Chapitres 2.2.6.2.1 et 2.2.6.2.2 du présent volume), des forages dirigés (cf. Figure 2-11), c'est-à-dire des forages initialement verticaux, puis progressivement déviés, pourraient être utilisés pour stocker des colis de déchets.

Dans un forage dirigé, la partie inférieure, où reposent les déchets, peut être orientée jusqu'à l'horizontale de manière à s'adapter à la géométrie de la formation géologique choisie.

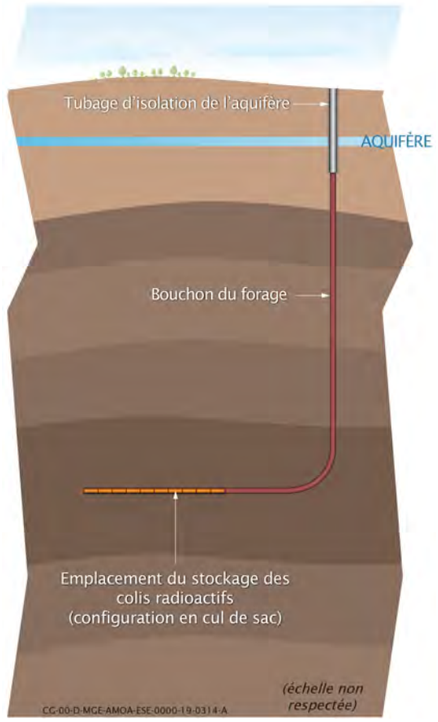


Figure 2-11 Principe du stockage en forages profonds dirigés en formation sédimentaire

Les forages dirigés permettent en principe d'atteindre des formations géologiques de toutes natures, en particulier sédimentaires, à moindre profondeur. Ce concept permet d'utiliser des formations géologiques situées à des profondeurs de l'ordre du kilomètre où les conditions d'environnement sont moins extrêmes qu'à grande profondeur (pression, température…).

Ce concept pose des difficultés analogues au stockage en forages profonds verticaux dans le socle cristallin et dans le sel en termes de sûreté des opérations de treuillage, de limitation des tailles de colis concernés et de difficultés de retrait (cf. Chapitres 2.2.6.2.1 et 2.2.6.2.2 du présent volume). Il ne permet pas de mettre en place une stratégie de développement progressive et réversible, de type de la phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitres 2.2.6.2.1 et 4.2 du présent volume). Ne pouvant pas être étudié au moyen d'un laboratoire souterrain et ne pouvant pas garantir la réversibilité, il ne constitue pas un mode de gestion acceptable pour le stockage des déchets HA et MA-VL car il ne répond pas à ces deux exigences du code de l'environnement (article L. 542-10-1).

2.2.6.3 Le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières

Parmi l'ensemble des voies de gestion des déchets HA et MA-VL ayant fait l'objet d'études et recherches depuis les années 1970, le stockage dans une installation dédiée, creusée dans une couche géologique profonde au moyen de techniques minières, est certainement celle qui a fait l'objet du plus de recherches et d'études. Ce type d'installation est parfois dénommé stockage « conventionnel ». Différents types de roches sont envisagées dans le monde pour ce type de stockage, en fonction du milieu géologique national des différents pays. Les principales sont le sel, le granite et l'argile.

Le stockage en couche géologique profonde au sein d'une installation dédiée, creusée au moyen de techniques minières, est considéré par le PNGMDR et à l'échelle internationale comme suffisamment mature pour être mis en œuvre aujourd'hui pour les déchets radioactifs les plus dangereux. Il est pratiqué depuis les années 1970 pour les déchets industriels les plus dangereux, notamment en Allemagne.

La directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 (11) établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs indique qu'*« il est impératif* […] *de mettre en place un stockage dans des installations appropriées qui serviront d'emplacement final »* et que *« sur le plan technique, le stockage en couche géologique profonde constitue, actuellement, la solution la plus sûre et durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité et du combustible considéré comme déchet »* (cf. Chapitre 2.2.8.1 du présent volume). De plus, il présente l'avantage d'être capable de prendre en charge tous les déchets concernés et de se suffire à lui-même pour leur gestion à caractère définitif, contrairement à toutes les autres pistes évoquées dont aucune ne permet de gérer à la fois l'ensemble des déchets HA et l'ensemble des déchets MA-VL (cf. Chapitres 2.2.2 à 2.2.6.2.3 et tableau de synthèse comparatif du chapitre 2.2.7.6 du présent volume).

Les principaux types de stockage dans des installations creusées par techniques minières, étudiés dans le monde dans différents types de roches, sont présentés dans le présent chapitre 2.2.6.3 du présent volume. Les différents types de roches étudiés en France et la justification du choix de l'argile pour y implanter le centre de stockage Cigéo sont présentés au chapitre 2.3 du présent volume.

2.2.6.3.1 Le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde dans le sel

Le sel est une roche qui présente certaines propriétés favorables pour le stockage de déchets radioactifs :

- la quasi absence d'eau au sein de la formation salifère empêche la migration de substances radioactives ;
- la conductivité thermique élevée du sel facilite le stockage des déchets HA.

En revanche, la solubilité du sel dans l'eau le rend sensible aux cas d'intrusion accidentelle d'eau dans le stockage et c'est ce qu'il s'est passé pour l'installation d'Asse en Allemagne (cf. ci-après).

Un stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde dans le sel, dénommé WIPP[57], est exploité depuis 1991 aux États-Unis (Nouveau-Mexique). Des déchets comparables aux déchets MA-VL français y sont stockés. Des incidents d'exploitation, non liés au type de roche, ont suspendu son exploitation du 14 février 2014 au 10 avril 2017. L'exploitation a aujourd'hui repris.

Le sel, très présent dans le sous-sol de l'Allemagne, a été particulièrement étudié dans ce pays. Des puits et des galeries de reconnaissance ont été creusés dans le dôme de sel de Gorleben (Basse Saxe) en vue de l'implantation d'un stockage de déchets HA. Le programme national allemand de recherche d'un site pour un stockage en couche géologique profonde a néanmoins été réorienté en 2017 vers une nouvelle approche, ouverte sur tous les types de roches (57).

En Allemagne toujours, l'ancienne mine de sel de Asse (Basse Saxe) a été utilisée pour y mener des expériences et pour y stocker des déchets radioactifs peu irradiants (cf. Figure 2-13). Il a été décidé en 2013 de les en retirer, car des creusements des parties de l'ancienne mine étaient préjudiciables au stockage. En effet, ils ont déstabilisé la roche et permis l'intrusion accidentelle d'eau et la solubilisation de sel (source : Bundesgesellschaft für Endlagerung).

[57] *Waste Isolation Pilot Plant*

ÉVÉNEMENTS AYANT AFFECTE LES STOCKAGES DE DECHETS RADIOACTIFS DANS LE SEL GEMME

Deux évènements ont entraîné l'arrêt, pour l'un temporaire et pour l'autre définitif, de l'exploitation d'installations de stockage dans le sel, aux États-Unis (WIPP – Waste Isolation Pilot Plant) et en Allemagne (Mine de Asse). L'évènement ayant affecté le WIPP n'est pas relié à la nature de la roche dans laquelle cette installation se trouve. En revanche, celui qui a affecté la mine de Asse est directement lié aux caractéristiques spécifiques du sel.

L'événement ayant affecté le WIPP aux États-Unis

Depuis 1991, le centre de stockage du WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) situé à Carlsbad dans l'État du Nouveau-Mexique reçoit des colis de déchets comparables à des déchets MA-VL, issus exclusivement du programme de défense américain. Il est implanté dans une couche de sel à une profondeur de 655 mètres.

Deux incidents successifs ont eu lieu au WIPP en 2014. Le 5 février 2014, un incendie s'est déclaré dans un camion de transport de sel à moteur diesel dans une galerie souterraine en chantier (sans présence de colis de déchets à proximité). Le rapport d'analyse a montré que le véhicule n'avait pas fait l'objet d'une maintenance régulière. Lorsque l'incendie s'est déclaré sur le camion, le dispositif d'alerte embarqué par alarme visuelle s'est déclenché mais n'a pas entrainé une réaction appropriée des opérateurs : d'une part l'alarme était masquée par divers matériaux et d'autre part le site ne disposait pas de procédure de crise et le personnel n'avait pas été formé à l'évacuation d'urgence.



Figure 2-12 Photographie du camion incendié au WIPP (37)

Puis le 14 février 2014, une réaction exothermique à l'intérieur d'un colis de déchets stocké dans une autre galerie provoque un relâchement de radioactivité à l'extérieur, en surface. Les éléments tirés de l'analyse des causes de cet accident montrent notamment que le producteur des déchets à l'origine du relâchement avait procédé à un changement de conditionnement de ses déchets, sans en avertir le WIPP : il avait remplacé un matériau argileux par un matériau organique. Le colis de déchets incriminé n'était donc pas conforme sans que cela ait été détecté lors de son admission sur le centre.

Les analyses post-accident ont exploré la possibilité d'un lien de causalité entre le premier incident, qui aurait élevé la température dans l'installation souterraine, et le second, qui aurait pu être amorcé par cette élévation de température. Un plan de remise en sûreté et exploitation du WIPP a été élaboré fin 2014 et mis en œuvre à partir de début 2015.

Les activités de mise en place des déchets ont repris en janvier 2017, après approbation des autorités.

Le retour d'expérience de cet événement réalisé par l'IRSN met en avant l'importance de la maîtrise du contenu des colis de déchets, la nécessité de prévoir des dispositions permettant de détecter suffisamment tôt une anomalie et de prévoir à la conception de l'installation les dispositions qui permettront de limiter les conséquences d'éventuelles dérives survenant en exploitation.

Dans les mesures prises pour garantir la sûreté en exploitation du centre de stockage Cigéo, en ce qui concerne les colis, l'Andra définit, en application de la réglementation française, des spécifications d'acceptation des colis qui seront soumises à l'ASN pour approbation. Le respect de ces spécifications sera garanti par un processus d'approbation et d'acceptation des colis incluant des contrôles par les producteurs de déchets et par l'Andra, dont certains sont déjà réalisés afin de garantir dès à présent la maîtrise du contenu et du comportement des colis.

L'événement ayant affecté la mine de Asse en Allemagne

L'ancienne mine de potasse et de sel de Asse en Allemagne (Basse Saxe), dont l'exploitation a commencé en 1906, a été utilisée de 1965 à 1978 pour y stocker des déchets radioactifs de faible et moyenne activité (dont environ un pour cent s'apparente à des MA-VL). Le gisement de sel et de potasse de la mine de Asse se présente sous la forme d'un « dôme » (par opposition à une couche horizontale).

L'extraction de sel depuis 1906 s'est traduite par la création d'un nombre important de galeries et de grandes cavités laissées vides dans le dôme (représentant un volume total de 3,5 10^6 m^3). Quelques-unes des cavités issues de l'exploitation minière ont été réutilisées pour y placer les déchets radioactifs.

Les grands volumes vides créés dans le dôme par l'exploitation minière y génèrent progressivement d'importantes déformations qui se propagent jusqu'à l'un des flancs latéraux du dôme. Cela conduit à des venues d'eau souterraine provenant des formations géologiques adjacentes. Le sel étant sujet à dissolution, une intrusion d'eau à l'intérieur d'une formation saline tend en général à s'accentuer avec le temps. De la saumure contaminée a ainsi été repérée à partir de 1994 à l'intérieur de l'installation souterraine. Aujourd'hui, malgré des travaux de remblayage au voisinage des déchets, un risque d'effondrement des cavités souterraines et une arrivée d'eau susceptible de faire migrer des substances radioactives hors du stockage sont redoutés.

L'Allemagne a étudié plusieurs options pour la gestion du site : poursuivre le remblayage des cavités souterraines, déplacer ou retirer des colis de déchets stockés. L'option du retrait a été décidée. L'opération est néanmoins rendue complexe par le fait que le stockage n'avait pas été initialement conçu pour être récupérable. Concernant la gestion de ses déchets de façon générale, l'Allemagne a relancé la recherche d'un site en vue de l'enfouissement de ceux-ci.

Le retour d'expérience des événements survenus à Asse confirme l'intérêt des dispositions prises pour la conception du centre de stockage Cigéo. La conception du centre de stockage Cigéo est en effet dédiée au stockage des déchets radioactifs, elle n'utilise pas de cavités existantes et les dispositions sont prises pour permettre la récupérabilité des colis de déchets. Une séparation totale de la zone d'exploitation nucléaire et de la zone où sont effectués les travaux de creusement est également retenue pour le centre de stockage Cigéo.



Figure 2-13 Galerie de sel : laboratoire souterrain d'Asse (Allemagne)

Un autre stockage de déchets radioactifs peu irradiants dans le sel a été exploité en Allemagne sur le site de Morsleben (Saxe-Anhalt). Ce centre de stockage est aujourd'hui fermé.

» L'UTILISATION DU SEL GEMME POUR LE STOCKAGE DE DÉCHETS INDUSTRIELS TOXIQUES

Le sel gemme est couramment utilisé pour le stockage géologique de certains déchets dangereux industriels non radioactifs.

De façon générale, les déchets industriels dangereux peuvent être stockés dans des installations dédiées en surface ou sub-surface sous certaines conditions (équipements spéciaux et système d'étanchéité) pour éviter que les polluants qu'ils contiennent se répandent dans l'environnement. En 2012, la France dénombrait ainsi 13 « *installations de stockage de déchets dangereux* » (ISDD). Seuls les déchets qui, après stabilisation ou solidification, respectent les limites de lixiviation imposées par la réglementation européenne y sont admissibles. Ceux qui ne peuvent pas être suffisamment insolubilisés sont transférés dans des installations de stockage géologique (il s'agit par exemple de déchets contenant du mercure).

On trouve de telles installations en Allemagne dans d'anciennes mines de sel. Les sites de Herfa-Neurode (Land de la Hesse) et de Zielitz (Land de la Saxe-Anhalt), exploités par la société allemande K+S, offrent une capacité annuelle de stockage géologique de 330 000 tonnes de déchets dangereux. Ils sont exploités pour le stockage de déchets industriels dangereux respectivement depuis 1972 et 1995.

En France, une installation similaire aux stockages allemands, « Stocamine », avait été développée dans une ancienne mine de potasse en Alsace. Cette installation accueillait à la fois des déchets dangereux admissibles en ISDD et des déchets lixiviables ne pouvant être gérés qu'en stockage géologique. Elle a été exploitée de 1999 à 2002.

Un incendie s'est déclaré dans l'une des galeries de l'installation souterraine le 10 septembre 2002. Il a été provoqué par des réactions chimiques à l'intérieur de colis de déchets dont il s'est avéré qu'ils ne respectaient pas les conditions d'admission. Onze jours ont été nécessaires aux pompiers pour maîtriser l'incendie. Cet incendie a entraîné l'arrêt de l'exploitation de l'installation.

Les études menées ensuite pour définir les modalités de fermeture du site ont révélé une insuffisance à long terme. Il a ainsi été décidé que les déchets mercuriels et le Zirame (produit chimique fongicide) seront retirés de l'installation.

L'incendie de Stocamine montre l'importance de la mise en œuvre d'un processus rigoureux d'acceptation et de contrôle des déchets dans une installation de stockage et de celle d'intégrer à la conception des dispositions adaptées de réduction des risques d'incendie. Elle souligne aussi la nécessité de prendre en compte les grandes échelles de temps dans la définition de méthodes de gestion des déchets.

Le retour d'expérience de Stocamine ne remet pas en question le principe de la mise en sécurité des déchets toxiques dans le sel gemme. Pendant une période, sauf exception, les déchets retirés de Stocamine ont été reconditionnés et stockés définitivement dans une mine de sel en Allemagne à Sondershausen (Thuringe). En 2021 un arrêté de non retrait des déchets a été signé. Dès lors, les déchets restent stockés sur site.

Notons qu'en France, aucun territoire comportant une formation saline dans son sous-sol susceptible de pouvoir accueillir un laboratoire de recherche souterrain, puis éventuellement un stockage, ne s'est porté candidat à un tel projet.

2.2.6.3.2 Le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde dans le granite

Un massif granitique profond et de vaste dimension est une formation géologique qui offre une grande flexibilité pour la conception architecturale d'un stockage de déchets HA et MA-VL. En effet, le granite est une roche dure, très peu poreuse et très peu perméable. Sa résistance mécanique permet d'excaver la roche sans exiger de soutènement important. Sa conductivité thermique permet de dissiper aisément la chaleur émise par des déchets radioactifs. L'environnement chimique créé en profondeur est favorable à la durabilité des matériaux utilisés et à l'immobilisation des radionucléides.

En revanche, à l'échelle d'un massif, le granite n'est pas une formation géologique monolithique et homogène (cf. Figure 2-14). Il est parcouru par des fractures de tailles variables qui peuvent affecter la perméabilité de la roche. L'eau présente dans ces failles peut se déplacer de façon significative. En conséquence, dans les installations de stockage dans le granite, les colis de déchets radioactifs sont conçus pour constituer la principale barrière sur laquelle repose le confinement à long terme des radionucléides.



Figure 2-14 Exemple de roche granitique

La Finlande et la Suède (cf. Figure 2-15), dont les sous-sols sont essentiellement constitués de granite, développent des stockages profonds en milieu granitique pour les déchets de haute activité (en pratique des combustibles usés dans les contextes nationaux finlandais et suédois). Avec la France, la Finlande et la Suède sont les pays les plus avancés dans le développement technique d'un stockage en couche géologique profonde.



Figure 2-15 Lieux d'installations scandinaves liées à la gestion des déchets de haute activité

En Finlande, le processus d'implantation d'un stockage géologique a été achevé il y a 20 ans, lorsqu'un site proche de la centrale nucléaire d'Olkiluoto a été sélectionné avec l'accord de la municipalité d'Eurajoki.

En 2004, Posiva a posé la première pierre en construisant le laboratoire de recherche « Onkalo » sur le futur site de stockage. L'objectif d'Onkalo était d'organiser des recherches souterraines dans un site propice au stockage de combustible nucléaire irradié et de fournir des informations sur le substrat rocheux d'Olkiluoto. Dès le début, le laboratoire d'Onkalo était conçu pour faire partie du futur centre de stockage.

Le concept du stockage finlandais est basé sur la technologie de stockage du combustible usé encapsulé dans des conteneurs en cuivre (technologie suédoise dite KBS-3 (cf. Figure 2-16). Les galeries de stockage sont situées à une profondeur d'environ 500 mètres à l'intérieur du massif granitique d'Olkiluoto. Les conteneurs en cuivre contenant les déchets sont ensuite placés dans des alvéoles verticaux forés au sol des galeries. Une barrière ouvragée en bentonite est placée à l'intérieur des alvéoles autour des conteneurs. Les galeries de stockage sont remblayées avec des blocs de bentonite et sont scellées à l'aide d'un scellement ou bouchon spécifique à leur extrémité. L'isolement et le confinement à long terme reposent principalement sur le conteneur de stockage et les barrières ouvragées.

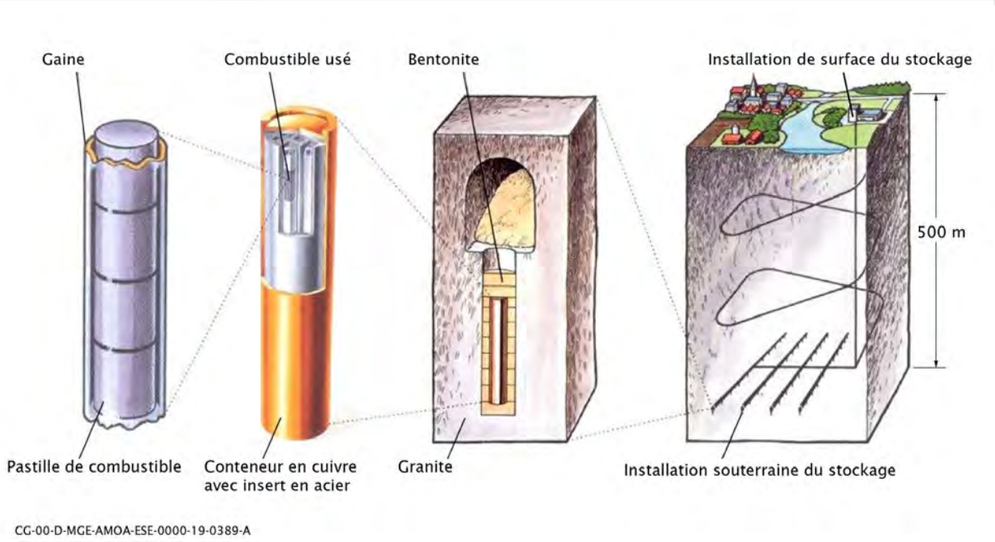


Figure 2-16 Concept suédois KBS-3 de stockage de combustibles usés (Source : SKB)

Un permis de construire - le premier au monde pour un stockage de combustibles usés - a été délivré en 2015. Aujourd'hui, les travaux de construction sont bien avancés avec plusieurs kilomètres de galeries déjà creusées. Le forage du puits destiné à acheminer dans le stockage les conteneurs de combustible irradié encapsulé est en cours de réalisation. En 2019 et 2020, le creusement du tunnel central a été réalisé après validation par l'Autorité de sûreté finlandaise (STUK) de la conception détaillée. En 2021, Posiva a commencé la construction des tunnels dans lesquels les colis de déchets seront stockés (environ 30 colis). Parallèlement aux travaux souterrains, la construction de l'usine d'encapsulation du combustible dans les conteneurs en cuivre est en cours. Le 30 décembre 2021 Posiva a déposé un dossier de demande d'autorisation pour l'exploitation de son installation de stockage. L'instruction de ce dossier sera également réalisée par STUK. Une fois que le gouvernement finlandais aura donné son accord, le stockage des colis de déchets dans ces tunnels pourra commencer. Le transfert en stockage des premiers conteneurs contenant du combustible usé pourrait débuter courant 2025.

En Suède, une loi de 1977 impose aux propriétaires de centrales nucléaires de disposer d'un concept de stockage avant toute autre autorisation de mise en service de nouveaux réacteurs.

Un projet de concept de stockage, dit « KBS », a donc été progressivement mis en place par la société suédoise de gestion des déchets nucléaires et des combustibles usés (SKB). Après des investigations approfondies dans plusieurs sites, il a été présenté au gouvernement en 1984.

Le développement et la démonstration de la faisabilité de ce concept et de la technologie de stockage ont nécessité des tests dans un environnement géologique. Pour ce faire, les installations de la mine de Stripa à Bergslagen ont été utilisées. Des méthodes d'investigation et de caractérisation de la roche y ont été mises au point au cours de la période 1976-1992. Des études sur les propriétés thermomécaniques du massif rocheux et le scellement y ont également été menées. Dans les années 1990, SKB a construit le laboratoire dans le granite d'Äspö (Simpevarp à proximité de la ville d'Oskarshamn). Le laboratoire d'Äspö (cf. Figure 2-17) développe techniquement le concept de stockage et produit des résultats pour sa démonstration de sûreté.

En 2009, un site pour l'implantation d'un stockage géologique a été choisi par SKB. Ce site est situé à proximité de la centrale nucléaire de Forsmark, dans la commune d'Östhammar.

En 2011, SKB a présenté ses demandes d'autorisation pour construire l'installation de stockage à Forsmark, conformément à la loi sur les activités nucléaires et au code de l'environnement. Comme en Finlande, le concept suédois repose principalement sur le confinement complet du combustible usé dans des conteneurs en cuivre, entouré d'un tampon d'argile à environ 500 mètres de profondeur dans une roche granitique (concept KBS-3).

Début 2018, après un examen approfondi, l'autorité de radioprotection suédoise (SSM) a recommandé au gouvernement d'approuver la demande de SKB. La Cour de l'environnement, après six semaines d'audiences publiques, a recommandé au gouvernement de demander à SKB des informations complémentaires sur cinq aspects particuliers du comportement des conteneurs en cuivre dans des conditions de stockage.

Depuis lors, SKB a apporté une réponse à cette demande et un ensemble de documents a été soumis au gouvernement début avril 2019.

La décision du gouvernement de lancer le projet a été annoncée en janvier 2022 (58) et les autorités doivent définir les conditions de mise en construction du stockage avec une mise en exploitation vers 2030/35.



Figure 2-17 Visite du laboratoire de recherche souterrain suédois à Aspö : démonstrateur de conteneur de stockage en cuivre dans une galerie souterraine

2.2.6.3.3 Le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde dans l'argile

L'argile est une roche sédimentaire à grain très fin. Elle est le plus souvent créée à partir de particules transportées et déposées il y a des millions d'années par le vent, les fleuves ou les courants marins sous forme d'alluvions. Avec le temps, ces dépôts ont sédimenté, se sont déshydratés et ont été compactés pour former une roche[58].

L'argile (cf. Figure 2-18) est une roche qui présente des propriétés favorables pour le stockage des déchets radioactifs :

- une couche d'argile constitue une barrière naturelle imperméable[59]. Cette propriété peut être observée dans la nature où elle est responsable du paysage particulier des régions à sous-sol argileux. L'eau ne pouvant s'infiltrer dans le sous-sol, des étangs, des lacs et des marais se créent naturellement. Dans un stockage, une couche d'argile protège les déchets et empêche les circulations rapides d'eau à leur contact ;
- dans leur quasi-totalité, les substances radioactives et toxiques sont contenues dans l'argile dans laquelle elles ne peuvent pas parcourir plus que quelques mètres[60]. Seules quelques substances particulières peuvent traverser l'argile et sortir d'un stockage. Ces substances, dites « mobiles », par exemple l'iode ou le chlore, ne se déplacent toutefois dans l'argile que par un processus extrêmement lent de diffusion. Cette propriété mesurable en laboratoire a également été observée dans la nature à Oklo (Gabon, cf. Encadré ci-après) ;

[58] Phénomène de diagénèse
[59] En termes scientifiques, une couche d'argile est très faiblement perméable à l'eau.
[60] Capacité dite de « sorption » des radionucléides éventuellement solubilisés.

- l'argile a des caractéristiques mécaniques et physiques qui lui permettent de se refermer avec le temps et de retrouver ses propriétés initiales, par exemple lorsqu'elle a été fracturée ou desséchée. On dit qu'elle « cicatrise ». Cette propriété est notamment utilisée depuis plus de 10 000 ans par les céramistes qui séparent, modèlent, sèchent, humidifient et travaillent l'argile autant que nécessaire avant sa cuisson.

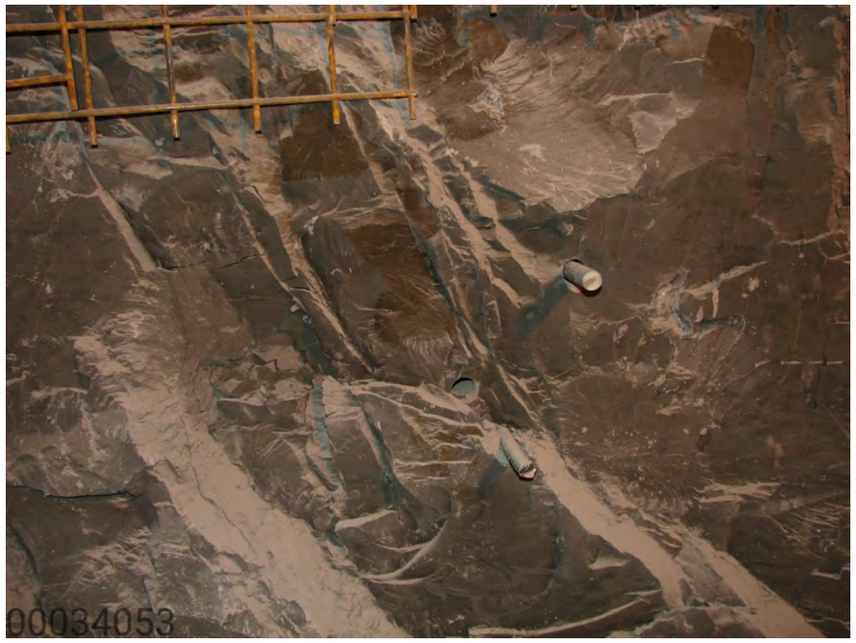


Figure 2-18 *Gros plan sur une paroi de Callovo-Oxfordien dans une galerie du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne*

LE CONFINEMENT DANS L'ARGILE DES PRODUITS DE FISSION DU RÉACTEUR NATUREL D'OKLO, AU GABON

La mine d'uranium d'Oklo, au Gabon, renferme le seul réacteur nucléaire naturel connu. Il a constitué une base d'informations particulièrement intéressante pour l'étude du stockage géologique de déchets radioactifs.

Des circonstances particulières ont conduit, il y a deux milliards d'années, à des réactions en chaîne dans le sous-sol de ce site riche en uranium. Les zones où elles se sont produites sont restées confinées sur plusieurs centaines de mètres dans une région qui n'a connu aucun bouleversement géologique important en deux milliards d'années.

Ce n'est qu'à une époque très récente que des phénomènes d'érosion ont amené les réacteurs au voisinage de la surface, permettant alors la découverte par l'Homme de traces de produits de fission (éléments radioactifs produits lors de réactions en chaîne) devenus inoffensifs.

Très étudié dans les années 1980-1990, ce phénomène a notamment permis de conforter la capacité d'une formation argileuse à confiner les éléments radioactifs sur des échelles de temps géologiques. À Oklo, les radionucléides produits par les fissions ne se sont déplacés que de quelques centimètres dans la plupart des cas, au plus de quelques mètres.

La capacité de l'argile à confiner durablement les déchets en a fait une des roches les plus étudiées pour la recherche de site de stockage de déchets HA et MA-VL. En effet, les caractéristiques des argiles varient en fonction de leur profondeur, de la date de leur création et de leur composition physico-chimique particulières.

La Belgique a créé un laboratoire souterrain sur le centre de recherches nucléaires de Mol[61] (province d'Anvers) pour étudier la couche d'argile dite de « Boom ». Ce laboratoire, dénommé HADES[62], est situé à 225 mètres de profondeur. Il est exploité par le groupement d'intérêt économique (GIE) EURIDICE du SCK·CEN[63] et de l'Ondraf[64]) pour l'étude du stockage des déchets radioactifs de haute activité. Selon EURIDICE, les couches d'argiles envisagées en Belgique pour le stockage de déchets radioactifs, l'argile de Boom et les argiles yprésiennes, « *sont vieilles de dizaines de millions d'années et sont très stables.* [...]. *Elles sont de nature à convenir pour le stockage en profondeur car elles sont très peu perméables à l'eau et retiennent très longtemps les matières radioactives* » (59).

La Suisse a elle-aussi créé un laboratoire souterrain pour étudier l'argile (cf. Figure 2-19). Il est accessible par le tunnel autoroutier du Mont Terri (canton du Jura). Il a été excavé à environ 300 mètres en-dessous de la surface. La roche qui y est étudiée est une argile à opalines[65]. Il est exploité par l'Office fédéral de topographie, Swisstopo, pour ses propres recherches et pour celles d'autres scientifiques, notamment de la Nagra[66], société chargée d'élaborer et de réaliser en Suisse des solutions techniques permettant une gestion durable des déchets radioactifs. Selon Swisstopo, l'argile étudiée possède « *haut pouvoir de confinement, très faible perméabilité à l'eau, transport par diffusion des matières dissoutes, structure homogène, rétention des radionucléides à la surface des minéraux argileux, capacité d'auto-cicatrisation des fissures et des fractures par gonflement* », propriétés favorables pour le confinement des déchets.



Figure 2-19 *Laboratoire souterrain du Mont-Terri : maquette d'une alvéole de stockage pour le combustible usé*

D'autres pays, qui souhaitent également s'orienter vers un stockage géologique de leurs déchets radioactifs les plus dangereux dans une couche d'argile profonde, envisagent une période de tests scientifiques et technologiques, dans un laboratoire souterrain. Il s'agit notamment de la Chine, la Hongrie et du Royaume Uni.

61 Les communes de Mol et Dessel sont par ailleurs, candidates pour accueillir un centre de stockage de déchets radioactifs en surface.
62 *High Activity Disposal Experimental Site.*
63 *Studiecentrum voor kernenergie* Centre d'étude de l'énergie nucléaire.
64 L'Ondraf est l'organisme national belge des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies.
65 Les argiles à opalines possèdent des caractéristiques proches de celles du Callovo-Oxfordien de la Meuse/Haute-Marne.
66 *Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle* - Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs.

La France possède aussi un laboratoire pour étudier le stockage dans l'argile. Il s'agit du Laboratoire de recherche souterrain du centre de Meuse/Haute-Marne, exploité par l'Andra, situé sur la commune de Bure dans la Meuse (cf. Chapitre 2.3.1 du présent volume).

2.2.6.3.4 Le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde dans d'autres types de roches

Aux États-Unis, dans l'État du Nevada (Yucca Mountain), une installation de stockage dans une configuration géologique très particulière a été étudiée par le « Département de l'Énergie » (*Department of Energy* - DOE) pour y implanter un stockage de déchets radioactifs de haute activité. Le site, constitué d'une roche volcanique indurée, le « tuff », n'est pas situé à grande profondeur. Il est au-dessus du niveau des nappes phréatiques (cf. Figure 2-20). Cette configuration géologique originale ne se retrouve pas sur le territoire national français. Elle n'a pas été étudiée dans d'autres pays que les États-Unis. Pour des raisons de politique énergétique nationale américaine, le financement de ces études a été suspendu en 2011.



Figure 2-20 Le site de Yucca Mountain dans le désert du Nevada

En France, le stockage dans des schistes a aussi été examiné avant 1991 (site de Segré). Les schistes sont des roches dures potentiellement fracturées. Ils présentent une anisotropie qui doit être prise en compte pour la maîtrise de leur comportement mécanique sous chargement thermique. En France, hormis dans la région d'Angers, on trouve le plus souvent les schistes dans des zones tectoniquement actives (par exemple les Alpes) qui ne sont pas compatibles avec l'implantation d'une installation de stockage géologique de déchets radioactifs. Les départements de la région d'Angers n'ont pas candidaté pour l'implantation d'un laboratoire souterrain en vue de l'étude de la faisabilité d'un centre de stockage de déchets radioactifs.

2.2.7 La synthèse comparative des modes de gestion vraisemblables des déchets HA et MA-VL envisagés

2.2.7.1 Les hypothèses et critères retenus pour la synthèse comparative des modes de gestion vraisemblables envisagés

En France, la comparaison du stockage géologique avec les autres voies envisagées pour la gestion des déchets HA et MA-VL justifie le choix du stockage géologique et constitue le point de départ des étapes d'études, d'implantation, de conception et d'analyse des impacts du centre de stockage Cigéo.

Elle constitue un préalable à la justification du choix du Callovo-Oxfordien comme roche d'accueil du stockage (cf. Chapitre 2.3 du présent volume), aux études approfondies pour sa démonstration de sûreté (cf. Chapitre 2.5.2 du présent volume), aux choix d'implantation de ses installations (cf. Chapitre 2.4 du présent volume), à ses choix de conception (cf. Chapitre 2.6 du présent volume), ainsi qu'à ses modalités de construction, de fonctionnement, de fermeture et de démantèlement (cf. Chapitres 3 et 4 du présent volume).

Pour ce faire, le présent chapitre expose et reprend sous forme de tableaux comparatifs, les analyses des principaux modes de gestion des déchets HA et MA-VL vraisemblables comparés.

Autant que de besoin, la comparaison et la justification du choix du stockage peuvent faire appel à des éléments complémentaires, présentés spécifiquement dans les chapitres portant sur le centre de stockage Cigéo aux chapitres 2.3 à 2.6 et 4.3 du présent volume. Il s'agit notamment d'éléments relatifs à sa sûreté, à son inventaire et à sa réversibilité. La synthèse de ses incidences environnementales est présentée dans le volume IV de la présente étude d'impact.

Différentes pistes de gestion à long terme des colis de déchets les plus radioactifs ont fait ou font l'objet d'études :

- l'entreposage de longue durée des déchets, en surface ou en sub-surface ;
- la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation, qui peut notamment mobiliser des technologies telles que le laser et des réacteurs nucléaires spécifiquement conçus dans cet objectif ;
- l'envoi des déchets dans l'espace ;
- l'évacuation des déchets dans les fonds marins (immersion dans les océans, enfouissements dans les fonds marins, utilisation de la tectonique des plaques) et dans les calottes polaires ;
- le stockage des déchets dans le milieu géologique continental dans des forages très profonds (plusieurs milliers de mètres) ou dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières.

L'envoi des déchets dans l'espace impliquerait un nombre conséquent de lancements (plusieurs dizaines de milliers à l'échelle mondiale), coûteux, et risqués : la fiabilité d'un lanceur, bien que jugée importante et suffisante pour l'envoi d'astronautes dans l'espace, est très inférieure à celle d'une installation nucléaire (de plusieurs ordres de grandeurs). Les solutions d'évacuation dans les fonds marins et dans les calottes polaires présentent quant à elles des inconvénients techniques significatifs et elles sont interdites pour les pays signataires de la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, entrée en vigueur dès 1972. Par conséquent, ces pistes ne sont pas considérées comme vraisemblables.

Finalement, les pistes vraisemblables pour la gestion des déchets HA et MA-VL retenues pour la comparaison sont :

- l'entreposage de longue durée des déchets, en surface ou en sub-surface ;
- la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation ;
- le stockage des déchets dans le milieu géologique continental :
  - ✓ dans des forages très profonds ;
  - ✓ dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières.

Le mode de gestion « stockage des déchets dans le milieu géologique continental dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières » qui est pris pour référence pour la comparaison est le centre de stockage Cigéo, étant entendu que la justification du choix de la roche (argile) est présentée au chapitre 2.3 du présent volume.

Pour les autres modes de gestion, l'exercice de comparaison exige de prendre des hypothèses concernant leur mise en œuvre industrielle :

- s'agissant de la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation, il est pris pour hypothèse que ce mode de gestion serait mis en œuvre dans un nouveau parc, à créer, de réacteurs nucléaires. Un certain nombre de sites nouveaux serait à nucléariser, les sites des réacteurs et centre de recherche actuels ne permettant pas, du point de vue des surfaces disponibles et des incidences environnementales supplémentaires acceptables, d'y construire tous les réacteurs du nouveau parc et toutes les nouvelles installations en support. En effet, un nouveau parc de réacteur de transmutation nécessiterait la création d'un ensemble cohérent de nouvelles installations de séparation, de traitement et de préparation des combustibles pour ces réacteurs ;
- s'agissant du stockage des déchets dans le milieu géologique continental dans des forages très profonds, il est pris pour hypothèse qu'ils seraient creusés sur les sites d'entreposage actuels des colis HA et MA-VL, c'est-à-dire La Hague et Marcoule, sans préjudice de la démonstration de la compatibilité géologique de ces sites[67] ;
- s'agissant de l'entreposage de longue durée des déchets, il est pris pour hypothèse qu'il serait effectué dans une installation centralisée, c'est-à-dire regroupant tous les déchets de l'inventaire, implantée à faible profondeur à proximité de la surface (sub-surface) sur un site nouveau, adapté à ce type d'installation[68].

Ces hypothèses, raisonnables techniquement, ont pour objectif de permettre une estimation globale des bénéfices et incidences des différentes voies de gestion, en les comparant de façon équitable, selon des paramètres et enjeux communs et sans défavoriser ou favoriser artificiellement un mode de gestion par rapport à un autre.

Pour ne pas complexifier inutilement l'exercice de comparaison, le nombre de paramètres a été limité à une dizaine, mais qui couvrent les principaux enjeux. Leurs analyses ont été regroupées en fonction des quatre thématiques suivantes :

- la capacité des modes de gestion à prendre en charge la totalité de l'inventaire des déchets HA et MA-VL, c'est-à-dire leur capacité à les gérer complètement et durablement. En effet, certains modes de déchets se suffisent à eux-mêmes, quand d'autres nécessitent la mise en œuvre d'une filière complémentaire ultérieure (cf. Chapitre 2.2.7.2 du présent volume) ;
- la maturité technologique des différents modes de gestion, c'est-à-dire de la capacité de notre génération à les mettre en œuvre (cf. Chapitre 2.2.7.3 du présent volume) ;
- la réversibilité des modes de gestion (y compris la récupérabilité des colis stockés) qui est une obligation légale incombant au stockage géologique en particulier, mais qui constitue un axe essentiel et particulier d'analyse compte tenu de la durée séculaire nécessaire à la mise en œuvre de tous les modes de gestion (cf. Chapitre 0 du présent volume) ;
- les estimations de leurs incidences sur l'environnement et la santé humaine (cf. Chapitre 2.2.7.5 du présent volume).

Les conclusions de la synthèse comparative, associées à un tableau récapitulatif simplifié, sont fournies à l'issue de l'exercice de comparaison (cf. Chapitre 2.2.7.6 du présent volume).

[67] Une hypothèse reposant sur un nombre important de forages très profonds répartis sur le territoire n'est pas très vraisemblable techniquement et socialement. Elle desservirait artificiellement ce mode de gestion du point de vue des impacts. Inversement, si un ou deux sites étaient retenus, même hors de La Hague et Marcoule, cela ne modifierait pas notablement le résultat de la comparaison.

2.2.7.2 La capacité des différents modes de gestion envisagés à prendre en charge tous les déchets de l'inventaire de référence, leur tendance à générer eux-mêmes de nouveaux déchets et leur besoin éventuel de filières de gestion de déchets radioactifs complémentaires ou ultérieures

Parmi les paramètres stratégiques à prendre en compte pour le choix d'un mode de gestion des déchets HA et MA-VL, il convient d'analyser en particulier :

- leur capacité à prendre en charge tous les déchets radioactifs de l'inventaire (cf. Chapitre 1.3 du présent volume) ou le besoin éventuel d'installations de gestion de déchets complémentaires en parallèle de leur fonctionnement ;
- les nouveaux déchets radioactifs qu'ils produisent pendant leur propre fonctionnement ;
- le besoin qu'ils génèrent de créer une filière suivante de gestion de déchets HA et MA-VL à mettre en œuvre ultérieurement à leur fonctionnement.

Tous les modes de gestion ne sont pas capables de prendre en charge de façon équivalente l'ensemble des déchets de l'inventaire de référence actuel (déchets produits ou à produire par les installations nucléaires existantes - cf. Chapitre 1.3 du présent volume). Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN rappelle que « *les perspectives de transmutation à une échelle industrielle des déchets déjà conditionnés de l'inventaire de référence de Cigéo ne sont pas crédibles* ». Seuls le stockage des déchets dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières et l'entreposage de longue durée des déchets ont la capacité de prendre en charge à eux seuls l'ensemble de l'inventaire. Il ne s'agit toutefois que d'une prise en charge temporaire pour l'entreposage, ce mode de gestion n'étant par définition, pas un mode de gestion durable. La réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation ne concernerait que certains des radionucléides présents dans les futurs déchets HA et ne pourrait pas s'appliquer à l'intégralité des futurs déchets MA-VL. Le stockage des déchets en forages très profonds permettrait de stocker la totalité des colis HA et les colis MA-VL les moins volumineux. Cependant, les colis de déchets MA-VL les plus volumineux nécessiterait des forages de diamètres trop importants. Leur gestion durable nécessiterait en parallèle la création d'un stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières.

Pendant leur fonctionnement et leur démantèlement, les différents modes de gestion produisent eux-mêmes plus ou moins de déchets radioactifs. Le fonctionnement et le démantèlement d'un parc de réacteurs, mis en œuvre pour la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation, et de ses installations supports produiraient des déchets en quantités importantes et en natures comparables à celles du parc électronucléaire actuel (HA, MA-VL et déchets susceptibles d'être stockés en surface). Les nouveaux déchets produits viendraient s'ajouter à ceux déjà existants. La réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation est donc nécessairement associée au développement de capacités et de filières complémentaires de stockage, même s'il peut être espéré que la nocivité des futurs déchets serait réduite par rapport aux déchets actuels. Comme le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières et le stockage en forages très profonds, l'entreposage de longue durée des déchets produirait peu de déchets de fonctionnement et de démantèlement.

Enfin, seul le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières et le stockage dans des forages très profonds (ce dernier complété par un stockage pour des déchets MA-VL) se suffisent à eux-mêmes et permettent d'envisager, à l'horizon du siècle prochain, un terme aux opérations de gestion des déchets HA et MA-VL. En revanche, la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation et l'entreposage de longue durée des déchets sont nécessairement suivis, dans le futur, à l'issue de leur fonctionnement, d'une autre filière de gestion de déchets radioactifs. En plus de la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation, il s'agira de mettre en sécurité, dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières, les déchets HA et MA-VL produits par le fonctionnement et le démantèlement du nouveau parc de réacteurs de transmutation et les déchets actuels non transmutés. Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN estime que, si des études sur la transmutation devaient être poursuivies,

[68] Une hypothèse reposant sur un nombre élevé d'entreposages de longue durée sur chaque site nucléaire (Bugey, La Hague, Marcoule, Cadarache, Valduc, centrales de production d'électricité…) n'est pas très vraisemblable industriellement et elle induit une certaine complexité d'analyse par la présence sur ces sites d'installations d'entreposage « classique » déjà construites. Inversement, si un nombre limité d'entreposage de longue durée était créé, cela ne modifierait pas notablement le résultat de la comparaison.

il conviendrait « *qu'elles soient menées dans l'optique du développement de filières complètes, intégrant le stockage des déchets issus de la transmutation et présentant un haut niveau de sûreté* ». Dans le cas de l'entreposage de longue durée des déchets, il s'agira d'engager la filière de gestion suivante imaginée et conçue pendant la période d'attente en entreposage. Celle-ci pourrait être, soit une nouvelle étape d'entreposage, repoussant encore la mise en sécurité durable des déchets, soit être basée sur un stockage géologique ou sur des technologies nucléaires de type transmutation arrivées à maturité dans l'intervalle. La réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation et l'entreposage de longue durée des déchets perpétuent ainsi le recours aux technologies nucléaires et ne dispensent en aucun cas de la création d'un stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières pour tout ou partie des déchets HA et MA-VL existants ou à produire.

Tableau 2-1 *Tableau comparatif des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères : capacité à prendre en charge tous les déchets HA de l'inventaire actuel/capacité à prendre en charge tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel/production de nouveaux déchets radioactifs/nécessité d'une filière suivante*

Très favorable | Favorable | Défavorable | Très défavorable

	Installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières - Création du projet de centre de stockage Cigéo	Réduction de la dangerosité par transmutation - Création d'un parc de réacteurs et de ses installations supports	Forages très profonds - Création de forages sur les centres nucléaires existants	Entreposage de longue durée - Création d'un entreposage centralisé enterré à faible profondeur à proximité de la surface (sub-surface)
Capacité à prendre en charge tous les déchets HA de l'inventaire actuel	• Stocke tous les déchets HA de l'inventaire actuel	• Transmute uniquement certains radionucléides contenus dans les déchets HA • Ne supprime pas tous les radionucléides à vie longue dangereux pour la santé contenue dans les déchets HA (137Iode, 36Chlore, 14Carbone…) • Serait difficilement envisageable pour les déchets HA déjà produits dont la dévitrification et la séparation seraient très complexes	• Stocke tous les déchets HA de l'inventaire actuel	• Prend en charge tous les déchets HA de l'inventaire actuel de façon temporaire
Capacité à prendre en charge tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel	• Stocke tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel	• Ne transmute pas les déchets MA-VL, car il faudrait en premier lieu en séparer les radionucléides à transmuter, ce qui est très complexe compte tenu de leur grande variété et de leur volume très important. Cette séparation est quasi-inenvisageable physiquement pour les déchets activés • Nécessite donc de créer des installations de gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel	• Stocke les déchets MA-VL conditionnés dans des colis peu volumineux (de géométrie identique aux colis HA) • Nécessite de créer un centre de stockage géologique pour les déchets MA-VL volumineux de l'inventaire actuel (et éventuellement pour ceux dont la démonstration de la sûreté en forage ne pourrait pas être acquise), creusé par des techniques minières conventionnelles	• Prend en charge tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel de façon temporaire
Production de nouveaux déchets radioactifs pendant leur propre fonctionnement et démantèlement	• Produit très peu de nouveaux déchets radioactifs et uniquement des déchets pouvant être stockés dans des installations de surface	• Produit de nouveaux combustibles irradiés, des déchets HA et MA-VL, ainsi que des déchets à stocker en surface • Les quantités totales de nouveaux déchets sont importantes (comparables à celles du parc actuel) et leurs natures sont encore mal cernées.	• Produit très peu de nouveaux déchets radioactifs et uniquement des déchets pouvant être stockés dans des installations de surface	• Produit très peu de nouveaux déchets radioactifs et uniquement des déchets pouvant être stockés dans des installations de surface
Nécessité d'une filière suivante de gestion de déchets HA et MA-VL	• Ne nécessite pas de développer une filière suivante de gestion des déchets	• Nécessite de mettre en œuvre une filière de gestion des déchets HA et MA-VL produits par le nouveau parc de transmutation et ses installations supports, c'est-à-dire, en l'état actuel des connaissances, soit un stockage géologique, soit un second parc de réacteurs de transmutation • On peut envisager que la nocivité de certains des nouveaux déchets soit moindre qu'actuellement	• Ne nécessite pas de développer une filière suivante de gestion des déchets (si un stockage dédié aux déchets MA-VL de l'inventaire actuel a été mis en œuvre en parallèle)	• Ne peut pas prendre en charge les déchets de l'inventaire de façon durable • Nécessite de mettre en œuvre une filière suivante de gestion pour les déchets HA et MA-VL de l'inventaire actuel à l'issue de leur période d'entreposage, c'est-à-dire, en l'état actuel des connaissances, soit un stockage géologique, soit un parc de réacteurs de transmutation • Selon la nature de la filière suivante choisie, elle produira plus ou moins de déchets nouveaux

2.2.7.3 La maturité technologique des modes de gestion vraisemblables envisagés et le nombre d'installations nouvelles qu'ils requièrent

Parmi les paramètres stratégiques qui rendent plus ou moins complexe la mise en œuvre d'un mode de gestion des déchets HA et MA-VL et qu'il convient donc d'analyser au moment du choix figurent en particulier :

- la maturité technologique des installations nucléaires à créer pour rendre possible leur fonctionnement ;
- le nombre d'installations nucléaires nouvelles à créer pour chaque mode de gestion.

La maturité d'une technologie traduit sa capacité à être intégrée de façon effective dans le fonctionnement d'un système industriel. Certaines technologies sont directement utilisables. Elles sont dites « à maturité ». D'autres nécessitent encore des essais et des développements, mais il peut être raisonnablement envisagé de les utiliser à court ou moyen termes. D'autres n'en sont encore qu'au stade de l'idée ou de la piste de recherches. Elles ne pourront être utilisées industriellement qu'au prix de percées technologiques et industrielles majeures qui restent très incertaines.

La maturité technologique est un paramètre stratégique essentiel à analyser pour retenir un mode de gestion. En effet, selon un principe de responsabilité intergénérationnelle, il appartient à la génération qui exploite les installations nucléaires et en tire des bénéfices de proposer un mode de gestion des déchets qu'elles produisent. Il est donc important d'analyser les modes de gestion des déchets au regard des connaissances disponibles actuellement et de la capacité technologique de notre génération à les engager. Parier sur le développement hypothétique de technologies nouvelles comporte le risque de ne pas aboutir et de reporter sur d'autres générations la décision du stockage.

Les maturités technologiques des différents modes de gestion envisagés pour les déchets HA et MA-VL, c'est-à-dire la capacité de notre génération à les utiliser de façon effective pour mettre en sécurité ces déchets, sont très inégales. Certains modes de gestion, notamment la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation et le stockage des déchets en forages très profonds, sont aujourd'hui plutôt assimilables à des pistes de recherches. Leurs perspectives d'industrialisation sont très incertaines compte tenu du nombre de verrous technologiques restant à lever pour les rendre utilisables (technologie de réacteurs de transmutation, technologie séparative des radionucléides à transmuter, technologie des forages très profonds de grands diamètres…). Au stade actuel des connaissances, il ne peut en aucun cas être garanti qu'elles puissent à l'avenir jouer un rôle effectif en matière de gestion industrielle des déchets HA et MA-VL. De plus, s'agissant du stockage des déchets dans les forages très profonds, sa démonstration de sûreté, même au stade des grands principes, ne peut pas encore être considérée comme acquise. En effet, les roches situées à très grande profondeur, c'est-à-dire à des profondeurs de l'ordre du kilomètre ou au-delà, ne sont pas aussi bien connues que les couches géologiques classiquement envisagées pour les installations de stockage géologique creusées au moyen de techniques minières (ces dernières sont plutôt situées à quelques centaines de mètres de profondeur et elles peuvent être étudiées par des laboratoires souterrains). Leur capacité à confiner effectivement les déchets sur le long terme doit encore être confirmée. En fonctionnement, cette technologie rend quasiment impossible la surveillance des colis stockés, ce qui pourrait rendre très difficile l'établissement de leur démonstration de sûreté et pourrait même être considéré comme rédhibitoire. De fait, si l'on considère les technologies actuelles et celles raisonnablement accessibles pour notre génération, seuls le stockage géologique et l'entreposage de longue durée sont réellement envisageables. Pour l'entreposage de longue durée, même s'il n'existe pas, à ce jour, d'études de conception abouties d'une installation centralisée, elles pourraient être menées à court terme sur la base des technologies et de l'expérience disponible. Cependant, la maturité technologique de la filière suivante (cf. Chapitre 2.2.7.2 du présent volume), à choisir à l'horizon du siècle prochain, est nécessairement incertaine à ce jour. Son choix posera des questions *a priori* de même nature que celles associées aujourd'hui au choix global entre le stockage des déchets dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières, la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation ou le stockage des déchets forages très profonds.

La création d'une installation nucléaire est en soi une source de complexité compte tenu des exigences requises en matière de choix de site, d'analyse environnementale globale, de processus d'autorisations administratives, d'investissement et d'acceptation sociétale. La création d'un nombre réduit d'installations constitue donc une complexité moindre pour un mode de gestion.

Le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières prend en charge tous les déchets HA et MA-VL de l'inventaire et constitue le mode de gestion qui réduit le plus le nombre d'installations nucléaires nouvelles à créer. Par rapport à la situation actuelle, le centre de stockage Cigéo ne nécessite la création que d'une seule installation nucléaire supplémentaire : lui-même. Le stockage en forages très profonds (dans l'hypothèse ils sont créés sur des sites nucléaires existants) est également économe en nouvelles installations. Il nécessite la création de deux installations de stockage en forages très profonds sur chacun des sites d'entreposage actuels des déchets HA (La Hague et Marcoule, ces derniers étant déjà très nucléarisés) et la création d'une installation de stockage creusée en couche géologique profonde au moyen de techniques minières pour les déchets MA-VL les plus volumineux (et éventuellement ceux dont la démonstration de sûreté du stockage en forage très profond ne pourrait pas être acquise). La réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation est le mode de gestion qui nécessite de créer le plus d'installations nucléaires. Elle est associée à une industrie nucléaire de taille et nature comparable à celle d'aujourd'hui, sans qu'il soit possible, à ce stade des études, de fournir un nombre précis d'installation à créer. L'entreposage de longue durée des déchets dans une installation centralisée ne nécessite la création que d'une seule installation nucléaire dans un premier temps, à laquelle viendront nécessairement s'ajouter les installations nucléaires de la filière de gestion suivante (cf. Chapitre 2.2.7.2 du présent volume).

Tableau 2-2 Tableau comparatif de la maturité technologique des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères : faisabilité technique/nombre d'installations nouvelles à créer

Très favorable | Favorable | Défavorable | Très défavorable

	Installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières - Création du projet de centre de stockage Cigéo	**Réduction de la dangerosité par transmutation - Création d'un parc de réacteurs et de ses installations supports**	**Forages très profonds - Création de forages sur les centres nucléaires existants**	**Entreposage de longue durée - Création d'un entreposage centralisé enterré à faible profondeur à proximité de la surface (sub-surface)**
Faisabilité technique par notre génération	• Faisabilité technique acquise (Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, études de conception de l'installation menée au stade de l'avant-projet)	• Faisabilité technique non acquise : • Technologie des réacteurs de transmutation à développer • Technologie de séparation des radionucléides transmutés à identifier	• Faisabilité non acquise : ✓ connaissance lacunaire des couches géologiques très profondes ; ✓ technologies de creusement des forages, d'emplacement des colis et de scellement des forages à développer ; ✓ sûreté en fonctionnement et après fermeture à démontrer.	• Faisabilité technique accessible pour l'installation d'entreposage • La faisabilité technique du mode de gestion suivant n'est quant à elle pas acquise
Nombre d'installations nucléaires nouvelles à créer	• Une seule installation nucléaire à créer : le centre de stockage géologique lui-même	• Nombre important d'installations nucléaires à créer pour la transmutation : ✓ installations d'extraction des radionucléides ; ✓ réacteurs de transmutation de radionucléides ; ✓ installations de traitement, de conditionnement des substances radioactives produites ; ✓ à termes, création de toutes les installations nucléaires nécessaires à la filière de gestion suivante, en nombre plus ou moins élevé en fonction du choix de cette filière (stockage géologique, seconde transmutation, forages…) ; ✓ création des installations de gestion des déchets de l'inventaire actuel non-transmutés (stockage géologique, forages…).	• Deux installations nucléaires de stockage en forages nouvelles à créer sur des sites existants nucléarisés • Une installation de stockage géologique à créer pour les colis de déchets MA-VL les plus volumineux de l'inventaire actuel	• Une installation nucléaire d'entreposage centralisé nouvelle à créer • À termes, création de toutes les installations nucléaires nécessaires à la filière de gestion suivante, en nombre plus ou moins élevé en fonction du choix de cette filière (stockage géologique, transmutation, forages…)

2.2.7.4 La réversibilité des modes de gestion vraisemblables envisagés

La réversibilité est une notion définie spécifiquement pour le stockage géologique. 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 du stockage permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets (suite notamment à une évolution de la politique énergétique. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage.* ».

Ainsi, la réversibilité consiste à laisser des choix ouverts aux générations successives en matière de développement d'un centre de stockage géologique. Elle est donc intégralement applicable au centre de stockage Cigéo. À cet égard, le code de l'environnement prévoit que la réversibilité soit assurée sur une durée minimale qui « *à titre de précaution […] ne peut être inférieure à cent ans* » (article L. 542-10-1). Si elle n'est pas formellement exigée pour les autres modes de gestion, il est toutefois envisageable de les comparer en fonction de leurs capacités à être construits progressivement, à s'adapter aux progrès techniques et aux éventuelles décisions de modification d'inventaire. Il est aussi nécessaire de les comparer en termes de capacité à revenir en arrière, en particulier à retirer les colis des installations utilisées, au cas où une voie alternative de gestion était décidée ultérieurement.

S'agissant de la progressivité de la construction, tous les modes de gestion peuvent être déployés de façon assez graduelle. Il faut toutefois noter que la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation ne pourrait être effectivement engagée qu'après la construction et le démarrage de certaines installations clés, notamment pour la séparation des radionucléides, retardant de fait le démarrage des installations liées.

S'agissant de leur flexibilité aux progrès techniques ou aux décisions de gouvernance et de leur adaptabilité graduelle aux modifications d'inventaire, les modes de gestion sont également assez équivalents dans les limites des scénarios qui soutiennent la définition des inventaires dits « de réserves » prévus par le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (cf. Chapitre 1.3.4.3 du présent volume).

S'agissant de la récupérabilité, la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation n'est pas véritablement concernée. En effet, elle repose sur le fonctionnement d'installations et de réacteurs dans lesquels les matières transitent et n'ont pas vocation à stationner de façon prolongée. La question de la possibilité de leur retrait ne se pose donc pas véritablement. Le stockage des déchets dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières, conformément à ses obligations réglementaires, est conçu pour que les colis puissent en être retirés pendant toute sa période de fonctionnement. Il assure, sur le plan de la récupérabilité, des fonctions équivalentes à celles d'un entreposage de longue durée centralisé. Le stockage en forages très profonds diffère des autres modes de gestion car il n'offre pas de possibilité de retrait des colis stockés. Compte tenu de leur grande profondeur d'implantation et des contraintes mécaniques induites sur les forages très profonds, après quelques mois, voire quelques années de stockage, il n'est plus techniquement envisageable d'en retirer des colis de déchets. Ceux-ci sont rapidement bloqués. Cette lacune en termes de réversibilité est un paramètre qui obère très fortement le recours éventuel aux forages très profonds.

Enfin, la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation et l'entreposage de longue durée des déchets nécessitent la mise en œuvre à l'issue de leur fonctionnement, d'une filière suivante de gestion des déchets HA et MA-VL (cf. Chapitre 2.2.7.2 du présent volume). Si l'un de ces modes de gestion était retenu, la réversibilité de la filière suivante (stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières, réduction de la dangerosité par la transmutation ou stockage en forages très profonds) ferait *a priori* partie des éléments à apprécier par les générations concernées au moment de son éventuel choix.

Tableau 2-3 Tableau comparatif des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères liés à la réversibilité : progressivité de la construction, flexibilité de l'exploitation, adaptabilité de la conception et récupérabilité des colis

Très favorable | Favorable | Défavorable | Très défavorable

	Installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières - Création du projet de centre de stockage Cigéo	Réduction de la dangerosité par transmutation - Création d'un parc de réacteurs et de ses installations supports	Forages très profonds - Création de forages sur les centres nucléaires existants	Entreposage de longue durée - Création d'un entreposage centralisé enterré à faible profondeur à proximité de la surface (sub-surface)
Progressivité de la construction, flexibilité et adaptabilité	• Développement progressif et flexible prévu pour le centre de stockage • Adaptable à des évolutions de la politique nationale en matière de gestion des déchets, par exemple le stockage des CU ou le stockage géologique des déchets FA-VL	• Développement progressif possible des installations de transmutation • Adaptable à des évolutions de la politique nationale en matière de gestion des déchets (sous réserve de sa faisabilité technique)	• Développement progressif et flexible possible pour les forages très profonds • Adaptable à des évolutions de la politique nationale en matière de gestion des déchets (sous réserve de sa faisabilité technique)	• Développement progressif et flexible possible pour l'entreposage centralisé • Adaptable à des évolutions de la politique nationale en matière de gestion des déchets
Récupérabilité des colis	• Installation réversible, conçue pour que les colis puissent en être retirés pendant toute la durée de son fonctionnement	• Sans objet pour les RN transmutés qui sont éliminés définitivement • Opérations sans difficulté pour les réacteurs et pour les installations supports	• Retrait rapidement inenvisageable des colis stockés	• Installation conçue pour garder les colis de façon temporaire, les colis peuvent en être retirés pendant toute la durée de son fonctionnement

2.2.7.5 Les impacts environnementaux des modes de gestion vraisemblables envisagés

Parmi les paramètres stratégiques à prendre en compte pour le choix d'un mode de gestion des déchets HA et MA-VL, il convient d'analyser en particulier ses impacts environnementaux et plus particulièrement :

- l'impact environnemental brut de leur construction, de leur fonctionnement et de leur démantèlement et fermeture, ainsi qu'à long terme ;
- le nombre de transports de colis de déchets radioactifs qu'ils nécessitent ;
- les conséquences sur la santé humaine et sur l'environnement en cas d'accident pendant le fonctionnement ;
- leur capacité à limiter les risques à long terme.

Les impacts environnementaux de la construction, du fonctionnement et du démantèlement ou de la fermeture des installations requises par les différents modes de gestion ne sont pas équivalents. Ils seraient très largement supérieurs dans le cadre de la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation qui implique de construire et d'exploiter un nouveau parc de réacteurs et toutes les installations industrielles en support. Les impacts environnementaux de la construction, du démantèlement et de la fermeture du stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières et d'un entreposage de longue durée centralisé implanté à proximité de la surface semblent comparables. Le stockage en forages très profonds ont le moins d'impact en termes de construction, de fonctionnement et de fermeture, en particulier s'ils peuvent être réalisés sur des sites nucléaires existants (le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières requis pour les seuls déchets MA-VL les plus volumineux de l'inventaire actuel aurait une taille beaucoup plus réduite que le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières requis pour le projet global Cigéo). La particularité de la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation et de l'entreposage de longue durée des déchets est qu'à leurs propres impacts bruts, il faut ajouter ceux de la filière suivante (cf. Chapitre 2.2.7.2 du présent volume). Le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières ou dans des forages très profonds ont quant à eux des impacts très faibles à non significatifs à long terme.

S'agissant des transports, la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation multiplie les besoins de déplacer les substances radioactives entre les installations actuelles, les nouvelles usines du cycle et les réacteurs de transmutation, puis vers les filières de gestion des nouveaux déchets produits. Inversement, le stockage en forages très profonds les réduit au maximum. En effet, dans l'hypothèse où ces forages sont localisés sur les sites actuels d'entreposage des colis HA, leurs transports sur la voie publique ne sont plus nécessaires. Dans un premier temps, le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières et l'entreposage de longue durée centralisé sont équivalents en termes de transport. Tous les colis sont transportés vers une unique installation. Toutefois, les futurs transports de déchets radioactifs, depuis l'installation d'entreposage de longue durée vers la filière suivante de gestion, viendront s'ajouter au nombre des transports initiaux.

S'agissant des conséquences potentielles sur la santé humaine et l'environnement en cas d'accident pendant leur fonctionnement, le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières et le stockage en forages très profonds sont équivalents. Les conséquences potentielles restent modérées compte tenu du conditionnement des colis et de leur éloignement de la biosphère apportée par la profondeur. Pour un entreposage de longue durée centralisé, elles sont potentiellement plus importantes. En effet, un entreposage de longue durée est plus sensible aux agressions externes compte tenu de sa plus faible profondeur et il implique un nombre plus important de manutentions pour expédier les colis de déchets vers la filière suivante, ce qui augmente les risques. Quant à la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation, elle fait appel à des réacteurs nucléaires qui sont susceptibles d'entraîner des conséquences radiologiques importantes sur de larges proportions de territoire en cas d'accident.

S'agissant des risques que font peser à long terme les différents modes de gestion, le stockage dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières et le stockage en forages très profonds sont équivalents (dans l'hypothèse où la démonstration de sûreté des forages peut être acquise – cf. Chapitre 2.2.7.3 du présent volume). Ils sont passifs après fermeture et garantissent la sûreté sur de très longues échelles de temps, sans intervention humaine. Inversement, la sûreté à long terme de la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation et de l'entreposage de longue durée des déchets dépend de la mise en œuvre effective de la filière suivante. En cas de perte de contrôle, même momentané, de la société (guerre, abandon...), il n'est pas possible de garantir la sûreté à long terme. Si ces installations viennent à s'altérer gravement par manque de maintenance ou par agression externe, leur proximité avec la surface entraîne des conséquences potentiellement très importantes sur la santé et l'environnement.

Tableau 2-4 *Tableau comparatif des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères : Impact environnemental brut de la construction - du fonctionnement et du démantèlement - à long terme/impact sur les transports de colis de déchets/sur la santé humaine/risques à long terme*

Non significatif | Modéré | Fort | Très fort

	Installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières - Création du projet de centre de stockage Cigéo	Réduction de la dangerosité par Transmutation - Création d'un parc de réacteurs et de ses installations supports	Forages très profonds - Création de forages sur les centres nucléaires existants	Entreposage de longue durée - Création d'un entreposage centralisé enterré à faible profondeur à proximité de la surface (sub-surface)
Impact environnemental brut de la construction	Induit un impact brut fort pour la construction du centre de stockage Cigéo (la mise en place des mesures ERC aboutissant à un impact non significatif – à l'exception d'incidences temporaires locales lors des chantiers de surface qui peuvent être modérées)	Induit un impact brut très fort pour la construction : • d'un nouveau parc de réacteurs pour la transmutation ; • des installations supports ; • d'un stockage géologique pour les déchets de l'inventaire actuel non transmutés.	Induit un impact brut modéré pour la construction : • des forages sur les sites nucléarisés ; • d'un centre de stockage géologique de taille réduite pour les déchets MA-VL volumineux de l'inventaire actuel.	Induit un impact brut fort pour la construction de l'entreposage centralisé, comparable à celui du centre de stockage Cigéo
Impact environnemental brut du fonctionnement et du démantèlement	Induit un impact brut modéré pour le fonctionnement du centre de stockage géologique Induit un impact brut modéré pour son démantèlement et sa fermeture	Induit un impact brut fort pour le fonctionnement : • du parc de réacteurs de transmutation ; • des installations supports ; Induit un impact brut modéré pour le fonctionnement du centre de stockage géologique des déchets de l'inventaire actuel non transmutés.	Induit un impact brut modéré pour le fonctionnement des forages et du centre de stockage géologique des colis MA-VL volumineux de l'inventaire actuel Induit un impact brut modéré pour leur démantèlement et leur fermeture	Induit un impact brut modéré pendant le fonctionnement de l'entreposage de longue durée Induit un impact brut modéré pour son démantèlement et sa fermeture
Impact environnemental brut à long terme	Induit un impact brut non significatif à long terme	Induit des impacts bruts potentiellement forts pour la construction, le fonctionnement et le démantèlement de la filière suivante	Induit un impact brut non significatif à long terme	Induirait des impacts bruts potentiellement forts pour la construction, le fonctionnement et le démantèlement de la filière suivante
Impact sur les transports de colis de déchets radioactifs	Nécessite des transports des colis de déchets depuis leurs entreposages actuels vers le centre de stockage géologique	Induit une multiplication des transports entre les sites de production, les futures usines du cycle, les nouveaux réacteurs et les futurs stockages	Limite au maximum les transports (si les forages profonds sont implantés sur les sites nucléaires d'entreposage des déchets HA)	Nécessite des transports des colis de déchets depuis leurs entreposages actuels vers l'entreposage centralisé Nécessite ultérieurement de désentreposer et de transporter les colis de déchets vers la filière suivante de gestion
Impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement en cas d'accident pendant le fonctionnement	Induit un impact modéré sur la santé et le territoire en cas d'accident affectant l'installation de stockage	Induit un impact très fort sur la santé et le territoire en cas d'accident affectant un réacteur de transmutation	Induit un impact modéré sur la santé et le territoire en cas d'accident affectant les forages de stockage	Induit un impact fort sur la santé et le territoire en cas d'accident : • les colis sont en grand nombre proches de la surface ; • l'entreposage est plus sensible aux agressions externes qu'une installation profonde. Les agressions sont plus probables.
Risques à long terme	Induit un risque très faible sur la santé et le territoire en raison de la sûreté passive après fermeture, y compris en cas d'intrusion involontaire	Dépend de la mise en œuvre de la filière suivante Induit des risques très importants en cas : • de non mise en œuvre de la filière suivante ; • de perte du contrôle institutionnel (non garanti au-delà de plusieurs siècles).	Induit un risque très faible sur la santé et le territoire en raison de la sûreté passive après fermeture, y compris en cas d'intrusion involontaire	Dépend de la mise en œuvre de la filière suivante Induit des risques très importants en cas : • de non mise en œuvre de la filière suivante ; • de perte du contrôle institutionnel (non garanti au-delà de plusieurs siècles).

2.2.7.6 Les conclusions de la synthèse comparative des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL

Différentes pistes de gestion à long terme des colis de déchets les plus radioactifs ont fait ou font l'objet d'études :

- l'entreposage de longue durée des déchets, en surface ou en sub-surface ;
- la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation, qui peut notamment mobiliser des technologies telles que le laser et des réacteurs nucléaires spécifiquement conçus dans cet objectif ;
- l'envoi des déchets dans l'espace ;
- l'évacuation des déchets dans les fonds marins (immersion dans les océans, enfouissements dans les fonds marins, utilisation de la tectonique des plaques) et dans les calottes polaires ;
- le stockage des déchets dans le milieu géologique continental, dans des forages très profonds ou dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières.

L'envoi des déchets dans l'espace impliquerait un nombre conséquent de lancements (plusieurs dizaines de milliers à l'échelle mondiale), coûteux, et risqués : la fiabilité d'un lanceur, bien que jugée importante et suffisante pour l'envoi d'astronautes dans l'espace, est très inférieure à celle d'une installation nucléaire (de plusieurs ordres de grandeurs). Les solutions d'évacuation dans les fonds marins et dans les calottes polaires présentent quant à elles des inconvénients techniques significatifs et elles sont interdites pour les pays signataires de la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, entrée en vigueur dès 1972. Par conséquent, ces pistes ne sont pas considérées comme vraisemblables.

Finalement, les pistes vraisemblables pour la gestion des déchets HA et MA-VL sont :

- l'entreposage de longue durée des déchets, en surface ou en sub-surface ;
- la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation ;
- le stockage des déchets dans le milieu géologique continental :
  - ✓ dans des forages très profonds ;
  - ✓ ou dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières.

Il ressort de l'analyse comparative des différents modes de gestions vraisemblables envisagés pour la gestion des déchets HA et MA-VL (cf. Tableau 2-5) un avantage significatif pour le stockage dans le milieu géologique continental dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières, principalement en raison de sa capacité à gérer l'ensemble des déchets HA et MA-VL actuel, de sa sûreté et de son très faible impact à long terme :

- outre que sa faisabilité technique n'est pas garantie, la transmutation est une filière qui ne peut pas traiter l'ensemble de l'inventaire actuel et qui nécessite ainsi de créer des installations de gestion des déchets actuels non transmutés et des installations de gestion des nouveaux déchets créés. Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN rappelle que « *les perspectives de transmutation à une échelle industrielle des déchets déjà conditionnés de l'inventaire de référence de Cigéo ne sont pas crédibles* ». Elle augmente le nombre total d'installations nucléaires et les transports de substances radioactives. Elle impose un recours durable aux technologies nucléaires industrielles. Elle induit des impacts bruts très importants pour sa construction, son fonctionnement, son démantèlement. Elle est susceptible d'entraîner des conséquences radiologiques importantes en cas d'accidents pendant son fonctionnement et en cas de perte de contrôle institutionnel. Cette filière ne se comprend que dans une logique de poursuite sur le très long terme de l'industrie nucléaire et en complément éventuel d'un stockage géologique s'il s'avérait nécessaire de réduire la nocivité de certains déchets ;
- outre que ni sa faisabilité technique, ni sa démonstration de sûreté, ne sont acquises, le principal inconvénient du stockage dans des forages verticaux très profonds consiste en son incapacité à être réversible. Une fois que les colis y sont stockés, il devient rapidement impossible de les retirer ;
- l'entreposage de longue durée, en surface ou en sub-surface, est une technologie accessible immédiatement. Toutefois, son principal handicap résulte dans le fait qu'il ne constitue pas un mode de gestion durable de déchets. Il implique la création d'une filière complémentaire de gestion durable dont rien n'indique qu'elle sera faisable, sûre ou économe en ressource et en impact environnemental. Elle ne réduit pas la nocivité des déchets et ne les met pas en sécurité définitive. Elle ne rend donc pas le même service collectif que les autres modes de gestion. L'entreposage de longue durée augmente le nombre de transports et de manutention pour entreposer et désentreposer les colis de déchets. Son impact environnemental brut à très long terme est potentiellement important, autant que les risques qu'il fait peser sur la santé et le territoire en cas de perte de contrôle institutionnel.

Par ailleurs, en ce qui concerne les solutions d'entreposage de longue durée, en surface ou en sub-surface et le stockage dans le milieu géologique continental dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières :

- les impacts environnementaux de la construction, du démantèlement et de la fermeture du stockage géologique et d'un entreposage centralisé implanté à proximité de la surface apparaissent comparables ;
- en termes de transport, dans un premier temps, le stockage géologique et l'entreposage de longue durée centralisé sont équivalents puisque tous les colis sont transportés vers une unique installation. Toutefois, dans le cas de l'entreposage de longue durée, les futurs transports de déchets radioactifs, depuis leur lieu d'entreposage vers la filière suivante de gestion, viendront s'ajouter au nombre des transports initiaux ;
- en phase de fonctionnement, les conséquences potentielles sur la santé humaine et l'environnement en cas d'accident d'un entreposage centralisé sont potentiellement plus importantes que pour le stockage géologique. En effet, un entreposage situé à proximité de la surface est plus sensible aux agressions externes compte tenu de sa proximité avec la biosphère en raison de sa faible profondeur. En outre, il nécessitera un nombre important de manutentions des colis de déchets pour les expédier vers la filière suivante, ce qui augmentera les risques ;
- enfin, compte tenu de la durée pendant laquelle les déchets HA et MA-VL restent dangereux, l'entreposage en surface ou à proximité de la surface ne peut être envisagé que comme un mode de gestion temporaire, dans l'attente d'une solution à long terme, contrairement au stockage en couche géologique profonde qui offre une solution de gestion passive, c'est-à-dire ne nécessitant pas d'action humaine. Dans le cas de l'entreposage en surface ou à proximité de la surface, la sûreté à long terme repose sur la mise en œuvre d'une éventuelle filière suivante de gestion à long terme. En cas de perte de contrôle, même momentané, par la société (guerre, crise, effondrement...), il n'est pas possible de garantir la sûreté d'un entreposage. Si un entreposage centralisé de déchets HA et MA-VL venait à s'altérer gravement par manque de maintenance ou à la suite d'une agression externe, sa proximité avec la surface entraînerait des conséquences potentiellement très importantes sur la santé et l'environnement.

Tableau 2-5 Tableau de synthèse comparatif simplifié des modes de gestion envisagés pour les déchets HA et MA-VL

Non significatif/très favorable | Modéré/favorable | Fort/défavorable | Très fort/très défavorable

	Stockage géologique Création du projet de centre de stockage Cigéo	Transmutation Création d'un parc de réacteurs et de ses installations supports	Forages très profonds Création de forages sur les centres nucléaires existants	Entreposage de longue durée Création d'un entreposage centralisé enterré
Capacité à prendre en charge tous les déchets HA de l'inventaire actuel	• Stocke tous les déchets HA de l'inventaire actuel	• Transmute uniquement certains radionucléides/Ne supprime pas tous les radionucléides à vie longue/n'est pas envisageable pour les déchets HA de l'inventaire actuel	• Stocke tous les déchets HA de l'inventaire actuel	• Prend en charge tous les déchets tous les déchets HA de l'inventaire actuel de façon temporaire
Capacité à prendre en charge tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel	• Stocke tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel	• Ne transmute pas les déchets MA-VL • Nécessite de créer un centre de stockage géologique pour les déchets MA-VL de l'inventaire actuel	• Stocke les colis de déchets MA-VL peu volumineux • Nécessite de créer un centre de stockage géologique pour les déchets MA-VL volumineux de l'inventaire actuel	• Prend en charge tous les déchets tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel de façon temporaire
Production de déchets radioactifs pendant leur propre fonctionnement et démantèlement	• Produit très peu de nouveaux déchets radioactifs	• Produit des quantités importantes de nouveaux déchets (nouveaux combustibles irradiés, déchets HA et MA-VL...)	• Produit très peu de nouveaux déchets radioactifs	• Produit très peu de nouveaux déchets radioactifs
Nécessité d'une filière suivante de gestion de déchets HA et MA-VL	• Ne nécessite pas de filière suivante de gestion des déchets	• Nécessite une filière suivante de gestion des déchets HA et MA-VL produits par le nouveau parc de transmutation et ses installations supports	• Ne nécessite pas de filière suivante de gestion des déchets	• Ne peut pas gérer les déchets de façon durable • Nécessite une filière suivante de gestion des déchets HA et MA-VL de l'inventaire actuel à l'issue de l'entreposage
Faisabilité technique par notre génération	• Faisabilité technique acquise	• Faisabilité technique non acquise	• Faisabilité non acquise	• Faisabilité technique accessible • Faisabilité de la filière suivante non acquise
Nombre d'installations nucléaires nouvelles à créer	• Une seule installation nucléaire à créer : le centre de stockage géologique lui-même	• Nombre élevé d'installations nucléaires à créer pour la transmutation/pour la gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel/pour la filière suivante de gestion des nouveaux déchets de transmutation	• Deux installations nucléaires de stockage en forages et une installation de stockage géologique à créer	• Une installation nucléaire d'entreposage centralisé et toutes les installations nucléaires de la filière suivante à créer (en nombre plus ou moins élevé en fonction de la filière - stockage géologique, transmutation, forages...)
Progressivité de la construction, flexibilité et adaptabilité	• Développement progressif, flexible et adaptable du centre de stockage	• Développement progressif, flexible et adaptable des installations pour la transmutation (sous réserve de sa faisabilité technique)	• Développement progressif, flexible et adaptable des forages très profonds (sous réserve de sa faisabilité technique)	• Développement progressif, flexible et adaptable de l'entreposage centralisé
Récupérabilité des colis	• Installation réversible, conçue pour que les colis puissent en être retirés pendant toute la durée de son fonctionnement	• Sans objet pour les réacteurs et pour les installations supports	• Retrait rapidement inenvisageable des colis stockés	• Installation conçue pour garder les colis de façon temporaire, les colis peuvent en être retirés pendant toute la durée de son fonctionnement
Impact environnemental brut de la construction	• Impact brut fort (la mise en place des mesures ERC aboutit à un impact non significatif)	• Impact brut très fort pour la construction du nouveau parc de réacteurs de transmutation, des installations supports et des installations de gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel	• Induit un impact brut modéré pour la construction des forages sur les sites nucléarisés et du stockage géologique des colis MA-VL volumineux de l'inventaire actuel	• Induit un impact brut fort pour la construction de l'entreposage centralisé, comparable à celui du centre de stockage Cigéo
Impact environnemental brut du fonctionnement et du démantèlement	• Impact brut modéré pour le fonctionnement, le démantèlement et la fermeture du centre de stockage géologique	• Impact brut fort pour le fonctionnement et le démantèlement du parc de réacteurs de transmutation et des installations supports • Impact brut modéré pour le fonctionnement des installations de gestion des déchets non transmutés de l'inventaire actuel	• Induit un impact brut modéré pour le fonctionnement, le démantèlement et la fermeture des forages très profonds et du centre de stockage géologique des colis MA-VL volumineux de l'inventaire actuel	• Impact brut modéré pendant le fonctionnement et pour le démantèlement de l'entreposage de longue durée
Impact environnemental brut à long terme	• Impact brut non significatif à long terme	• Impacts bruts potentiellement forts pour la construction, le fonctionnement et le démantèlement de la filière suivante	• Impact brut non significatif à long terme	• Impacts bruts potentiellement forts pour la construction, le fonctionnement et le démantèlement de la filière suivante
Impact sur les transports de colis de déchets radioactifs	• Transports des colis de déchets depuis leurs entreposages actuels vers le centre de stockage géologique	• Très nombreux transports entre les entreposages actuels, les futures usines de séparation, les nouveaux réacteurs de transmutation et les installations de la filière suivante	• Nombre réduit de transports sur la voie publique (si les forages profonds sont implantés sur les sites nucléaires d'entreposage des déchets HA)	• Transports des colis de déchets depuis leurs entreposages actuels vers l'entreposage centralisé • Transports des colis de déchets vers la filière suivante
Impact sur la santé humaine et l'environnement en cas d'accident pendant le fonctionnement	• Impact potentiel faible sur la santé et le territoire en cas d'accident	• Impact potentiel fort sur la santé et le territoire en cas d'accident affectant un réacteur de transmutation	• Impact potentiel faible sur la santé et le territoire en cas d'accident	• Impact potentiel fort sur la santé et le territoire en cas d'accident
Risques à long terme	• Risque très faible sur la santé et le territoire en raison de la sûreté passive après fermeture	• Dépend de la mise en œuvre de la filière suivante/Risques importants en cas de non mise en œuvre de la filière suivante et de perte du contrôle institutionnel (non garanti au-delà de plusieurs siècles)	• Risque très faible sur la santé et le territoire en raison de la sûreté passive après fermeture	• Dépend de la mise en œuvre de la filière suivante/Risques importants en cas de non mise en œuvre de la filière suivante et de perte du contrôle institutionnel (non garanti au-delà de plusieurs siècles))

La loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue (50) définissait trois axes de recherche :

- l'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface de ces déchets (recherches confiées au CEA) ;
- la recherche de solutions permettant la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans ces déchets (recherches confiées au CEA) ;
- l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains (recherches confiées à l'Andra).

Après 15 ans de recherches, l'Andra et le CEA ont remis des dossiers (« Dossiers 2005 » (60)) qui ont fait l'objet :

- d'une évaluation de la commission nationale d'évaluation (CNE) (48), qui a conclu en 2006 que la possibilité de prolonger, au-delà d'un maximum de 100 ans, la période d'exploitation d'un entreposage n'était pas démontrée. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques et techniques, entreposer des déchets sur plusieurs siècles imposerait donc un renouvellement périodique des installations ;
- d'un examen de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui a considéré, dans son avis du 1er février 2006 sur les recherches menées dans le cadre de la loi de 1991 (49) que :
  - « *la faisabilité technologique de la séparation et de la transmutation n'est pas acquise à ce jour. Même en cas de mise en œuvre d'une telle solution, l'élimination des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue ne sera pas totale. Une autre solution de référence est nécessaire.* » ;
  - « *l'entreposage de longue durée ne peut pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue.* » ;
  - « *le stockage en formation géologique profonde est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable.* ».

Fondée sur les acquis des quinze années de recherche menées notamment au sein du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne dans le cadre de la loi de 1991, sur leur évaluation par la Commission nationale d'évaluation et sur l'avis de l'ASN, la loi de 2006 (17) a retenu le stockage réversible en formation géologique profonde comme solution de référence pour la gestion à long terme des déchets HA et MA-VL afin de minimiser la charge sur les générations futures, et la poursuite des recherches sur l'entreposage et la transmutation comme axes complémentaires.

2.2.8 La voie du stockage en formation géologique profonde est adoptée internationalement

Parmi toutes les options imaginées pour la gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL, le stockage dans le milieu géologique continental dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières constitue la voie de référence qui fait consensus à l'échelle internationale.

2.2.8.1 La position des instances internationales

L'Agence pour l'énergie atomique (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) précisait en 1999 que « *de toutes les options envisagées, l'évacuation en formation géologique profonde est le mode de gestion à long terme le plus approprié pour les déchets radioactifs à vie longue* » (61).

Pour l'Agence Internationale à l'Énergie Atomique (AIEA), le stockage en formation géologique profonde et stable, en général à plusieurs centaines de mètres sous la surface est le mode de gestion communément reconnu pour le stockage des déchets de haute activité. Il a notamment été préconisé « *comme solution de gestion à long terme pour les déchets de haute et de moyenne activité. Les études de faisabilité, les études de sûreté spécifique au site et l'expérience opérationnelle ont généralement renforcé la confiance dans la sécurité du stockage géologique* » (62).

La directive européenne 2011/70/EURATOM du 19 juillet 2011 (11) établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs considère que « l*es déchets radioactifs, y compris le combustible usé considéré comme déchet, doivent être confinés et isolés durablement des êtres humains et de la biosphère. Du fait de leur nature spécifique, à savoir de leur teneur en radionucléides, il est impératif de prendre des dispositions afin de protéger l'environnement et la santé humaine contre les dangers résultant des rayonnements ionisants, y compris de mettre en place un stockage dans des installations appropriées qui serviront d'emplacement final. L'entreposage de déchets radioactifs, y compris à long terme, n'est qu'une solution provisoire* » (considérant n° 21). Elle considère également qu'il « *est communément admis que, sur le plan technique, le stockage en couche géologique profonde constitue, actuellement, la solution la plus sûre et durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité et du combustible considéré comme déchet* » (considérant n° 23).

2.2.8.2 Les politiques nationales en matière de stockage profond

En Europe, la quasi-totalité des pays ayant à gérer des déchets radioactifs de types HA ou MA-VL se préparent à les stocker en formation géologique profonde, avec des degrés d'avancement différents d'un pays à l'autre. Il est à noter que certains pays disposant d'un programme nucléaire modeste n'excluent pas la possibilité de partager un même centre de stockage géologique (stockage « régional »).

La Suède et la Finlande sont particulièrement avancées dans la mise en œuvre d'un stockage de leurs déchets de haute activité (en pratique des combustibles usés non retraités). Les deux pays ont développé des laboratoires. Les demande d'autorisation de création d'un stockage ont été obtenues (cf. Chapitre 2.2.6.3.2 du présent volume.

Au Royaume-Uni, un « Livre blanc » paru en 2008 a confirmé le bien-fondé scientifique du stockage géologique profond. La recherche de sites potentiels est en cours. Elle est basée sur le volontariat des communautés à accueillir une telle installation sur leur territoire. À fin 2021, trois communautés ont exprimé leur intérêt pour le projet : Mid-Copeland, South Copeland et Allerdale.

L'Allemagne affiche également son objectif de stocker ses déchets radioactifs en formation géologique profonde, y compris ses déchets de faible activité. Ce pays a développé deux projets de stockage géologique. Le projet de Konrad (Basse Saxe) est destiné à des déchets de faible dangerosité ainsi qu'à des déchets assimilables à des MA-VL. Il s'agit d'une ancienne mine de fer en cours de conversion en vue de la mise en œuvre du stockage. Le projet de Gorleben (également en Basse Saxe) était prévu accueillir des combustibles usés et des déchets HA. Ce projet a été arrêté et une nouvelle recherche de site est initiée. En 2016, une nouvelle loi organise la gouvernance de cette recherche de site. Depuis, BGE (Bundesgesellshaft für Endlagerung) pilote un programme de recherche de sites pour un stockage géologique profond dans tous les types de roches hôtes. En septembre 2020, BGE a publié un rapport intermédiaire identifiant 90 sous-zones potentielles pour la mise en place de ce stockage. Ces zones sont issues de l'évaluation des données géologiques. La deuxième étape du processus consistera à poursuivre les recherches afin de réduire les zones potentielles pour lesquelles BGE a l'intention de mener une exploration de surface dans la phase II. La mise en exploitation du stockage géologique est prévue aux alentours de 2050. La Belgique (laboratoire souterrain Hadès sur le centre de recherches nucléaires du SCK·CEN à Mol (1980)) et la Suisse (laboratoires du Grimsel dans le granite (1984) puis du Mont Terri en milieu argileux (1996)) se sont équipées de laboratoires.

La Belgique a fait le choix de poursuivre les recherches sur le stockage géologique, et de ne pas procéder, dans l'immédiat, à la sélection d'un site en particulier. Aucune échéance réglementaire n'est fixée à ce stade. Suite à une consultation publique, l'Ondraf a établi une nouvelle proposition de Politique nationale qui a été soumise aux ministres fédéraux en charge des Affaires économiques et de l'Énergie à l'automne 2020. C'est à présent au gouvernement qu'il appartient de prendre une décision finale sur la gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie.

En Suisse, la recherche de sites pour un stockage géologique est particulièrement active. *À l'instar* de l'Allemagne, ce pays considère aussi le stockage géologique pour des déchets de plus faible dangerosité. La Suisse est depuis 2018 à la recherche de sites pouvant accueillir une installation de stockage pour les déchets de faible et moyenne activité, et pour les déchets de haute activité ou d'un site de stockage combiné. Le pays se situe actuellement dans l'étape qui doit conduire à la sélection d'un site pour le stockage géologique. En 2008, l'Office fédéral de l'énergie nucléaire (OFEN) a lancé le plan « Dépôts en couches géologiques profondes ». Ce plan, dont la réalisation a été confiée à la Nagra, prévoit l'aménagement d'un site pour stocker la totalité des déchets radioactifs, de toutes les catégories, issus des cinq réacteurs nucléaires suisses, de l'industrie, de la médecine et de la recherche, soit environ 83 000 m3. Comme la France, la Suisse a choisi l'argile pour implanter son centre de stockage géologique. Après avoir exploré l'ensemble du territoire suisse, la Nagra a identifié six emplacements contenant des couches d'argile à Opalinus, une roche très étanche et absorbante, capable de confiner les substances radioactives sur de longues périodes. En 2020, la Nagra a déterminé trois sites potentiellement compatibles : la région du nord-est

de Zurich, l'est du massif du Jura, et la chaîne des Lägern. Neuf forages profonds sur ces sites ont révélé une couche d'argile d'Opalinus très dense, de plus de 100 mètres d'épaisseur. La Nagra a annoncé le 12 septembre 2022 le choix du site finalement retenu pour le stockage de ses déchets radioactifs : celui des Lägern. Elle déposera en 2024 une demande d'autorisation générale pour la construction du stockage auprès du gouvernement suisse. Après avis de l'OFEN et de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire*, le gouvernement rendra sa décision en 2029, suivi par le parlement en 2030. C'est enfin le peuple suisse qui s'exprimera dans une votation prévue pour 2031 au plus tôt.

Si l'Espagne met actuellement en priorité le développement d'une installation d'entreposage temporaire, le stockage géologique reste dans ce pays l'objectif de gestion des déchets HA et MA-VL.

Ailleurs dans le monde, de nombreux pays considèrent le stockage en formation géologique profonde comme le mode de gestion de référence de leurs déchets radioactifs les plus dangereux.

Les États-Unis exploitent, depuis 1991, le WIPP, premier et seul centre de stockage en formation géologique profonde de déchets comparables aux déchets MA-VL (cf. Chapitre 2.2.6.3.1 du présent volume). Pour ce qui concerne les combustibles usés et les déchets HA, une loi de 1982 sur la politique en matière de déchets nucléaires chargeait le Département de l'énergie de construire un centre de stockage final.

Les États-Unis ont déjà sélectionné un site pour accueillir leur stockage en couche géologique profonde, situé à Yucca Mountain dans le désert de Mohave, à 140 km de Las Vegas. Le site est destiné à accueillir des combustibles usés. Sa construction est sous la responsabilité du Département de l'énergie (DOE). Toutefois, le projet a été fortement ralenti sous l'administration Obama, qui a déclaré que « Yucca Mountain ne constituait pas une option réalisable pour le stockage à long terme des combustibles usés ». L'instruction de la demande d'autorisation de création déposée par le DOE, suspendue pendant quelque temps, a finalement abouti en janvier 2015. L'Autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC), en charge de cette instruction, a considéré que le projet répondait aux standards de sûreté du pays, en relevant deux points qui doivent être complétés. Ceux-ci concernent l'obtention par le DOE d'une partie de la propriété du terrain pressenti, ainsi que des droits en matière d'eau nécessaires à la construction de l'installation. En 2016, la NRC a également demandé des compléments au DOE relatifs à l'impact environnemental du projet. Cependant, le projet est actuellement gelé faute de financement.

Le Canada a été l'un des premiers pays à se doter d'un laboratoire de recherche souterrain pour évaluer la faisabilité du stockage géologique et développer des procédés (Laboratoire de recherche souterrain de Lac du Bonnet au Manitoba, construit à partir de 1982 et aujourd'hui fermé). À ce jour, aucune installation de stockage en couche géologique n'a été construite sur le territoire canadien mais le Canada est actuellement à la recherche d'un site pouvant accueillir une telle installation destinée aux combustibles usés. Actuellement, les candidatures de deux communautés (Ignace et South Bruce), situées en Ontario, ont été retenues pour accueillir le centre. Le choix du site de stockage sera fait en 2023 pour une mise en service en 2040-45. En Russie, une loi adoptée en 2011 a défini les étapes de création d'un centre de stockage pour les déchets de haute activité incluant une phase de recherche dans un laboratoire souterrain, dont les travaux préparatoires à la construction sont en cours dans la région de Krasnoïarsk (Sibérie). Une décision concernant la création du stockage est attendue d'ici 2025 et l'installation pourrait être opérationnelle à partir de 2035.

En Ukraine, des études et recherches sont en cours avec le soutien de l'Union européenne pour développer un stockage géologique. L'entité publique en charge de mener ce programme est mise en place sous le contrôle de l'agence nationale ukrainienne de la zone d'exclusion de Tchernobyl.

En Chine, aucune installation de stockage en couche géologique n'a été construite. Un projet de stockage des combustibles usés et des déchets HA des activités civiles et de défense est actuellement à l'étude sur le site granitique de Beishan (province de Gansu) où un tunnel de recherche a été construit en 2015 et la construction d'un laboratoire à environ 560 mètres de profondeur a débuté à l'été 2021. Parallèlement, la Chine conduit des recherches d'un site « argile » pouvant accueillir une installation de stockage.

Au Japon, en juillet 2017, une cartographie a été publiée, représentant les régions qui répondent à certains critères techniques et géologiques, faisant d'elles des potentielles candidates à l'accueil d'une telle installation de stockage. NUMO prévoit une première sélection de sites potentiels d'ici 2025 et une mise en service du stockage d'ici 2035.

En Inde, aucune installation de stockage en couche géologique n'a été construite. Une campagne destinée à identifier des sites potentiels a été menée, avec comme critère une capacité de stockage de 10 000 colis de déchets radioactifs. La solution privilégiée est celle d'un site granitique, ce pays disposant d'un retour d'expérience important de l'extraction et de l'utilisation de cette roche[69].De nombreuses collaborations multilatérales ou bilatérales existent entre ces pays. Les gestionnaires de déchets ont notamment créé deux instances internationales d'échanges auxquelles l'Andra participe activement :

- l'International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Material » (EDRAM), dont le but est l'échange d'information au sujet de la gestion des déchets radioactifs ;
- le « Club of Agencies » organisation informelle d'échanges entre les différentes agences européennes de gestion des déchets radioactifs.

EURAD (*European Joint Programme on Radioactive Waste Management*) réunit depuis 2019 une centaine d'acteurs européens impliqués dans la gestion des déchets radioactifs : agences de gestion des déchets radioactifs, comme l'Andra, supports techniques aux autorités de sûreté, comme l'IRSN, Organismes de recherche (CNRS, CEA, BRGM, Universités, etc.). Le programme Eurad, soutenu par la Commission européenne, coordonné par l'Andra, a pour objectif de mutualiser les efforts de recherche et de partager les connaissances scientifiques et techniques dans le domaine de la gestion à long terme des déchets radioactifs.

La figure 2-21 présente l'état d'avancement des projets de gestion des déchets radioactifs dans le monde.

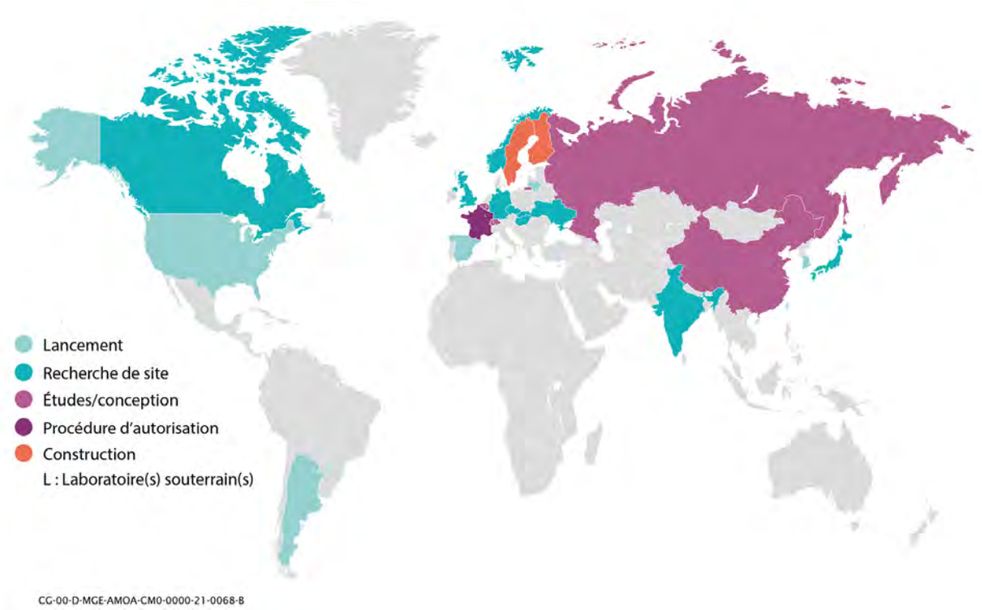


Figure 2-21 *État d'avancement des projets de gestion des déchets radioactifs dans le monde (Andra 2022)*

[69] Creusées dans le granit au 3e siècle avant J-C, les grottes artificielles de Barabar sont restées intactes jusqu'à nos jours.

2.2.9 La poursuite des recherches sur les solutions alternatives

Des recherches sur différentes solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs HA et MA-VL sont conduites depuis plusieurs dizaines d'années en France et à l'international. Par ailleurs, la poursuite du centre de stockage Cigéo n'obère pas la poursuite des recherches sur les solutions alternatives.

Le 5e Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) prévoit ainsi de « Mettre en place un cadre adapté à la poursuite des recherches autour des alternatives au stockage géologique profond ». Plus précisément, le projet de PNGMDR propose deux outils : « le lancement d'un appel à projets dans le cadre du plan France relance dont un volet sera spécifiquement dédié aux alternatives au stockage géologique et la mise en place d'une instance destinée à cadrer et suivre une veille scientifique sur le sujet et à proposer à l'État des recherches à financer. La mise en œuvre de ces deux processus aura pour objectif de permettre d'attribuer des budgets de recherche spécifiques à certains projets ou à identifier des partenariats à monter, qui pourront être inscrits comme objectifs dans les PNGMDR suivants ». Pour autant, le PNGMDR confirme bien qu'il n'existe pas « d'alternative crédible »[70] au stockage en couche géologique profonde à ce jour pour la gestion des déchets HA et MA-VL.

En juillet 2021, le ministère de la Transition écologique, le ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance et le Secrétariat général pour l'investissement ont confirmé l'appel à projets pour l'innovation dans la gestion des déchets radioactifs (63). Cet appel à projet est opéré pour le compte de l'État par la Banque publique d'investissement (Bpifrance), en lien avec l'Andra (en tant que support technique et scientifique). Il est ouvert jusqu'au 1er mars 2022, avec une relève intermédiaire fixée au 2 novembre 2021. Trois axes de recherche couvrant toutes les catégories de déchets radioactifs alimenteront l'appel à projets :

1. Le premier concerne le traitement, la caractérisation et le conditionnement des déchets, quelle que soit leur catégorie. Il s'inscrit notamment dans la continuité des précédentes actions menées dans le cadre du programme d'Investissement d'avenir ;
2. Le deuxième axe concerne le recyclage et à la valorisation des matières radioactives, un sujet qui est apparu important lors du débat public sur le PNGMDR, notamment pour l'uranium appauvri ;
3. Enfin le troisième axe concerne le développement des solutions alternatives et complémentaires au projet de stockage géologique. Ce dernier axe doit permettre d'étudier notamment la réduction de la radiotoxicité des déchets destinés à être stockés en couche géologique profonde ou à réduire l'emprise du centre de stockage Cigéo.

Les projets soumis à l'appel à projets seront évalués par des experts indépendants reconnus dans leur domaine, incluant des experts dits « non institutionnels ». Leurs évaluations reposeront sur un ensemble de critères scientifiques, mais aussi de nature sociétale et environnementale.

[70] En dehors des technologies nucléaires (réacteurs à neutrons rapides, réacteurs à sels fondus) apportant des perspectives de gestion complémentaire au stockage géologique profond.

Synthèse

La recherche et l'étude des pistes de gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL a été initiée de longue date dans la plupart des pays ayant développé des programmes nucléaires militaires ou électronucléaires ; elles tiennent compte de la nature et des propriétés des déchets qui en résultent.

Différentes pistes de gestion à long terme des colis de déchets les plus radioactifs ont fait ou font l'objet d'études :

- l'entreposage de longue durée des déchets, en surface ou en sub-surface ;
- la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation, qui peut notamment mobiliser des technologies telles que le laser et des réacteurs nucléaires spécifiquement conçus dans cet objectif ;
- l'envoi des déchets dans l'espace ;
- l'évacuation des déchets dans les fonds marins (immersion dans les océans, enfouissements dans les fonds marins, utilisation de la tectonique des plaques) et dans les calottes polaires ;
- le stockage des déchets dans le milieu géologique continental dans des forages très profonds (plusieurs milliers de mètres) ou dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières.

L'envoi des déchets dans l'espace ou leur évacuation dans les fonds marins et dans les calottes polaires ont été écartés pour des raisons techniques et/ou règlementaires.

Finalement, les pistes vraisemblables pour la gestion des déchets HA et MA-VL, comparées dans le cadre du projet global Cigéo, sont :

- l'entreposage de longue durée des déchets, en surface ou en sub-surface ;
- la réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation ;
- le stockage des déchets dans le milieu géologique continental :
  - ✓ dans des forages très profonds ;
  - ✓ dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières.

Il ressort de l'analyse comparative de ces quatre modes de gestions vraisemblables envisagés pour la gestion des déchets HA et MA-VL, un avantage significatif pour le stockage dans le milieu géologique continental dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières principalement en raison de sa capacité à gérer durablement et sur le très long terme l'ensemble des déchets HA et MA-VL, de sa performance en matière de sûreté et de son très faible impact à long terme. Il s'agit, à ce jour, du seul mode de gestion durable dont la faisabilité est avérée et qui permet de prendre en charge l'ensemble des déchets HA et MA-VL. Par ailleurs, parmi toutes les options imaginées pour la gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL, le stockage dans le milieu géologique continental dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières constitue la voie de référence qui fait consensus à l'échelle internationale. C'est le mode de gestion retenue par la France, mis en œuvre par l'Andra dans le cadre du projet global Cigéo.

Notons que bien que cette voie soit adoptée internationalement et retenue dans le cadre du projet global Cigéo, les recherches sur les solutions alternatives se poursuivent.

2.3 Le choix français du stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien

La recherche de milieux géologiques pour le stockage des déchets HA et MA-VL a commencé en France il y a près de 40 ans. Les divers types de roche envisageables ont été étudiés et comparés au cours des différentes périodes qui se sont succédé, Ces études se sont appuyées non seulement sur l'analyse des formations géologiques du territoire français mais aussi sur l'expérience internationale. En effet l'argile, le granite et, le sel gemme notamment ont aussi été étudiés dans d'autres pays. Il ressort des études à l'international qu'il est possible de concevoir des stockages dans ces différentes roches qui assurent une protection satisfaisante de la santé humaine et de l'environnement. Au final, dans le contexte géologique français, l'argile du Callovo-Oxfordien étudiée au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne est ressortie comme particulièrement favorable au regard notamment de ses propriétés de confinement élevées.

En effet, dans le cadre du projet global Cigéo, le choix d'un stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL dans des installations creusées en couche géologique profonde au moyen de techniques minières (cf. Chapitre 2.2 et chapitre 2.2.7.6 du présent volume) a conduit à réaliser des études et travaux destinés à valider un site d'implantation :

- plusieurs sites distincts ont été envisagés et le choix initial s'est porté sur la couche argileuse du Callovo-Oxfordien du site de Meuse/Haute-Marne dans l'est du Bassin parisien, au niveau duquel le Gouvernement a autorisé l'implantation d'un laboratoire souterrain de recherche (cf. Chapitre 2.3.1 du présent volume) ;
- les travaux conduits dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et les investigations menées depuis la surface (cf. Chapitre 2.3.2.1 du présent volume) ont confirmés progressivement la pertinence de la couche géologique initialement retenue et le Parlement a entériné le choix du site de Meuse/Haute-Marne (cf. Chapitre 2.3.3 du présent volume).

Sur la base de ces études et travaux, en 2006 et en 2016, à l'issue de deux débats publics, le parlement a confirmé politiquement le choix d'un stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien du site de Meuse/Haute-Marne, étant entendu que les départements candidats et le territoire ont constamment réaffirmé leur soutien au projet global Cigéo (cf. Chapitre 2.3.4 du présent volume).

2.3.1 Le choix technique initial de stockage des déchets HA et MA-VL dans la formation du Callovo-Oxfordien dans le sous-sol des départements de la Meuse et de la Haute-Marne

2.3.1.1 Les recherches de sites pour la création d'un stockage géologique

En France, la localisation d'un laboratoire souterrain de recherche, en vue de l'étude de la faisabilité d'un stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL dans des installations creusées en couche géologique profonde, est le résultat d'un travail initié par la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (50) dont le rapporteur fut le député Christian Bataille. Cette loi fut la première loi française relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (cf. Chapitre 2.3.3.1 du présent volume).

Le choix du site de Bure pour l'implantation d'un stockage géologique profond repose sur un processus associant études, évaluations (y compris internationales) et décisions nationales depuis 1991.

La démarche de localisation d'un laboratoire de recherche souterrain, menée par étapes successives, sous le contrôle du Parlement, a systématiquement considéré deux critères, abordés au même niveau d'importance :

- la compatibilité technique du sous-sol avec les exigences d'un stockage géologique et avec les objectifs de protection de l'Homme et de l'environnement contre la dangerosité des déchets. Ce critère de compatibilité technique était évalué à partir des connaissances géologiques préexistantes ;
- l'acceptation du projet par le territoire d'accueil. Seuls les départements ayant répondu à un appel au volontariat pour accueillir un laboratoire de recherche souterrain de recherche ont été retenus.

Ces critères et cette démarche par étapes tirait les leçons d'échecs antérieurs à 1991, imputables à la prise en compte du seul critère géologique.

2.3.1.1.1 Les recherches de sites pour le stockage géologique avant 1991

Le CEA a mené des études et recherches sur le stockage géologique depuis la fin des années 1970. L'Andra a été créée au sein du CEA en 1979, en premier lieu pour reprendre la gestion du Centre de stockage de la Manche. En 1982, le CEA a entrepris de collaborer avec des pays qui étudiaient déjà les qualités de diverses roches en vue d'un stockage souterrain (l'argile à Mol en Belgique, le sel à Asse, en Allemagne, le granite au Grimsel en Suisse).

Une première phase consistait en la réalisation de « *l'inventaire national et la présélection de zones a priori favorables*. ». Cette phase avait été « *conduite par l'ANDRA avec l'appui du bureau de recherches géologiques et minières* [BRGM] ». Elle avait « *consisté en une revue de données géologiques disponibles sur le sous-sol français (bibliographies, forages effectués dans le cadre de recherches pétrolières ou minières, etc.) afin de choisir quatre zones dont le sous-sol présente des caractéristiques favorables.* »

Dès les années 1980, des investigations sont menées sur quatre sites en France (Deux-Sèvres, Aisne, Maine-et-Loire et l'Ain) pour étudier la faisabilité d'un stockage profond.

- en 1987, au terme de cette première phase, avec l'appui scientifique du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), quatre sites ont été sélectionnés pour leur géologie *a priori* favorable pour y installer des laboratoires souterrains et y étudier la faisabilité d'un stockage profond :
  - ✓ le sel présent dans le sous-sol de la région de St-Julien sur Reyssouze (Ain) ;
  - ✓ les schistes présents dans le sous-sol d'une zone située au sud-ouest de Segré (Maine-et-Loire) ;
  - ✓ le massif granitique de Neuvy-Bouin, à l'ouest de Parthenay (Deux-Sèvres) ;
  - ✓ le sous-sol argileux d'une zone située au nord de Sissonne (Aisne).

Cette sélection s'est effectuée sur la base de critères géologiques, sans concertation préalable avec les territoires concernés. Des investigations géologiques de terrain depuis la surface ont été lancées dès que les sites sélectionnés ont été rendus publics le 18 mars 1987. Des campagnes géophysiques ont été menées entre 1987 et 1990 (forages exploratoires).

Néanmoins, cette démarche est, à l'époque, menée sans impliquer les riverains et élus des sites concernés, ce qui génère des contestations fortes. Ces protestations apparues sur certains territoires ont amené le Premier ministre, Michel Rocard, à décréter, en 1990, un moratoire d'un an sur les recherches conduites par l'Andra, pour reprendre, de manière plus concertée, l'examen politique, mais aussi scientifique et technique du projet avec l'ensemble des acteurs souhaitant faire entendre leur voix.

2.3.1.1.2 Les recherches de sites pour le stockage géologique après 1991

- Dans le cadre d'une mission de médiation confiée par l'État à Monsieur Bataille (64), au terme du moratoire, trois zones, favorables géologiquement et situées dans des départements volontaires (les trois zones s'étendant sur quatre départements), ont été sélectionnées en 1993 :
  - ✓ une zone argileuse dans le Gard ;
  - ✓ une zone argileuse s'étendant sur la Haute-Marne et la Meuse ;
  - ✓ une zone granitique dans la Vienne.

En ce qui concerne les formations salines, ces dernières sont caractérisées par la quasi-absence d'eau (eau qui est susceptible de dégrader les composants ouvragés et de permettre la migration des radionucléides). De plus, le sel présente une conductivité thermique élevée permettant de dissiper facilement la chaleur dégagée par les colis de déchets radioactifs exothermiques. En revanche, la solubilité du sel dans l'eau le rend sensible aux cas d'intrusion accidentelle d'eau dans le stockage, et c'est ce qu'il s'est passé pour l'installation d'Asse en Allemagne (cf. Chapitre 2.2.6.3.1 du présent volume – Événements ayant affecté les stockages de déchets radioactifs dans le sel de gemme).

Par ailleurs, dans le cadre de la mission de médiation sur l'implantation de laboratoires de recherche souterrains, confiée ensuite à Monsieur Bataille par l'État, qui s'est déroulée du 13 août 1993 au 13 février 1994, aucun

territoire comportant une formation saline ou schisteuse dans son sous-sol, susceptible de pouvoir accueillir un Laboratoire de recherche souterrain, puis éventuellement un stockage, ne s'est porté candidat à un tel projet. Les options de stockage en milieu salin ou schisteux n'ont, depuis lors, plus été étudiées par l'Andra.

Une deuxième phase consistait alors en « *la sélection d'un site pour l'implantation d'un laboratoire souterrain* ». Il s'agissait alors de reconnaitre les zones présélectionnées « *au moyen d'études géophysiques conduites à partir de la surface (gravimétrie, sismique), de forages superficiels et de forages profonds* ».

Le site en zone granitique dans la Vienne a été écarté *in fine* après de premières investigations car les propriétés du massif granitique n'ont pas fait consensus auprès de la communauté scientifique (la couche géologique étudiée présentait un fort risque de fracturation et de maitrise limitée de la caractérisation de cette fracturation, et une possible connexion hydraulique du granite avec une formation aquifère sus-jacente exploitée comme ressource en eau a été identifiée). Le granite est une roche dure, ce qui facilite la construction d'une installation souterraine. Elle est très peu poreuse et très peu perméable. Sa conductivité thermique permet de dissiper aisément la chaleur émise par des déchets radioactifs. L'environnement chimique créé en profondeur est favorable à la durabilité des matériaux utilisés et à l'immobilisation de la très grande majorité des radionucléides (faible solubilité…). Le site de la Vienne laissait place à des interrogations scientifiques, notamment de la part de la Commission nationale d'évaluation (CNE), quant à ses qualités hydrogéologiques[71]. En effet, la formation granitique était située sous une couverture sédimentaire comportant des ressources en eau exploitées pour les besoins agricoles. Au final, la possibilité d'y réaliser un stockage sûr n'a pas fait l'objet d'un consensus scientifique. Les formations granitiques en France sont souvent parcourues par des fractures de tailles variables qui peuvent affecter la perméabilité de la roche. L'eau peut ainsi circuler facilement, dégrader les ouvrages et permettre la migration significative des radionucléides. Une tentative de recherche d'un autre site granitique[72] a été lancée dans les années 2000. Compte tenu de l'inventaire des déchets radioactifs à stocker, la principale difficulté est de trouver, en France, un volume suffisamment important de granite sans défaut pour y implanter l'installation de stockage. Cependant, le contexte géologique français est très varié et il n'existe pas de formations granitiques de très grandes tailles et homogènes (à l'inverse, par exemple, de la Scandinavie). Les recherches n'ont pas permis d'identifier un autre site répondant aux deux critères technique et politique (le volontariat). Les études sur le stockage dans le granite se sont néanmoins poursuivies en France jusqu'en 2005, en se fondant notamment sur les enseignements des laboratoires souterrains scandinaves (cf. Chapitre 2.2.6.3.2 du présent volume). L'Andra a produit en 2005, en plus du « Dossier 2005 Argile – Évaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse » (65), un « Dossier 2005 Granite – Intérêt des formations granitiques pour le stockage géologique » (66).

En ce qui concerne les formations argileuses, l'argile présente des propriétés très favorables. Elle est imperméable, ou du moins la circulation de l'eau y est très lente. Ses propriétés géochimiques lui confèrent une forte capacité de rétention et de faible solubilité de la très grande majorité des radionucléides. Enfin, elle dispose d'une capacité à « se cicatriser » et à retrouver ses propriétés hydrauliques et de transfert des solutés initiales, notamment pour la zone endommagée mécaniquement au pourtour immédiat des ouvrages souterrains du fait de leur creusement. La formation argileuse dispose donc des caractéristiques adéquates pour remplir les fonctions nécessaires dans la sûreté à long terme du stockage : en effet, à long terme, c'est l'argile qui permet d'assurer la sûreté en confinant la radioactivité, lorsque l'efficacité des composants ouvragés (colis, ouvrages en béton) décroit progressivement dans le temps du fait de la présence d'eau (qui circule en petite quantité et très lentement).

Néanmoins, le site en zone argileuse dans le Gard a également été écarté après des investigations préliminaires car il présentait une difficulté de maintien de ses caractéristiques dans le futur liée à son évolution géodynamique à long terme. Le site du Gard présentait une complexité technique résultant de son contexte géologique (une ancienne vallée étroite envahie par la mer dans le passé). De plus, il posait certaines questions dues, d'une part à la sismicité de la zone (modérée, mais supérieure à celle de la Meuse et de la Haute-Marne), d'autre part à des incertitudes sur sa stabilité à long terme[73]. Par ailleurs, une opposition forte spécifique et locale au projet global Cigéo était apparue.

Finalement, le site en zone argileuse s'étendant sur la Haute-Marne et la Meuse est retenu en 1998 car bénéficiant d'un contexte géologique *a priori* très favorable à l'issu des investigations préliminaires et d'un fort soutien local.

2.3.1.1.3 La poursuite des études sur le site de Meuse/Hautes Marne

Le choix français de l'argile, et plus particulièrement de la couche du Callovo-Oxfordien sur le site de Meuse/Haute-Marne dans l'est du Bassin parisien, repose sur un long processus associant études et décisions.

L'Andra dispose d'une connaissance fine du milieu géologique local grâce aux nombreux travaux de caractérisations menés depuis 30 ans, au sein du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et depuis la surface (multiples forages, sismiques 2D et 3D). Ces travaux et l'utilisation de leurs résultats par l'Andra pour la conception et l'évaluation de sûreté du projet de centre de stockage Cigéo ont été régulièrement évalués par l'ASN[74] avec l'appui de l'IRSN, la CNE (Commission nationale d'évaluation), des revues internationales d'experts, etc.

Parmi les caractéristiques remarquables du site et de la formation du Callovo-Oxfordien retenus figurent :

- la stabilité générale du bassin parisien, reconnu comme une des zones géologiques les plus stables dans le monde sur le plan sismique et avec une histoire géologique bien appréhendée depuis sa formation il y a environ 300 millions d'années[75] ;
- une évolution limitée et très lente de la formation du Callovo-Oxfordien depuis son dépôt, il y a environ 160 millions d'années.

L'Andra a fait mener des études sur le devenir du Bassin parisien dans le contexte général européen, et plus particulièrement le devenir du site d'implantation du centre de stockage Cigéo, dans le prochain million d'années du fait de la géodynamique interne (surrection…) et de la géodynamique externe (évolution climatique). Ces études ont traité un ensemble de scénarios d'évolutions géodynamiques jugés possibles par les scientifiques et en visant à encadrer le domaine d'évolution future, notamment en termes d'érosion des formations géologiques affleurantes et d'évolution des écoulements d'eau dans les formations géologiques. Par exemple différents scénarios d'évolution climatique sont retenus comme des scénarios perturbés par les activités humaines (en cohérence avec les travaux du GIEC) ou non perturbés par ces activités (évolution naturelle pilotée notamment par la position astronomique de la Terre).

Les résultats de l'ensemble des travaux montrent des évolutions du site sur le prochain million d'années qui, au maximum, se traduiraient par une incision significative de vallées sans atteindre le Callovo-Oxfordien du fait de sa profondeur au-delà de 200 mètres. Ces scénarios sont pris en compte dans les évaluations de sûreté après fermeture du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 18 du volume IV de l'étude d'impact et « Pièce 8 – Étude de maîtrise des risques » dans le dossier de la demande d'autorisation de création (DAC) du centre de stockage Cigéo (2).

Par ailleurs l'Andra s'est fortement appuyée sur les travaux géologiques très nombreux menés sur le Bassin parisien, tant sur un plan académique que pour la recherche de ressources (eau, géothermie, hydrocarbures…). Elle a complété cette base de connaissance par des travaux scientifiques en propre centrés plus précisément sur le secteur de la zone d'implantation du centre de stockage Cigéo (dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et grâce à des investigations menées en surface et depuis la surface, en particulier un forage dévié). L'ensemble des résultats a permis de s'assurer que site d'implantation du centre de stockage Cigéo est situé dans une zone à l'écart des grandes structures géologiques (failles). On n'y trouve ainsi pas de structure d'importance, pouvant affecter la continuité et la géométrie des couches.

---

[74] Ainsi dans son avis n° 2018-AV-0300 du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté (DOS) (67) présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde, l'ASN indique « *Considérant que le dossier d'options de sûreté montre notamment que l'Andra a : - acquis une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne, qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage […]* ».

[75] https://sigessn.brgm.fr/spip.php?article255 et https://sigessn.brgm.fr/spip.php?article268

HISTORIQUE DES ECHANGES SCIENTIFIQUES AVEC LES INSTANCES NATIONALES ET INTERNATIONALES AU SUJET DE LA DISSIPATION DES FLUX THERMIQUES

De façon générale, l'Andra appuie ses activités relatives au stockage géologique profond sur des bases scientifiques acquises par le monde de la recherche nationale et internationale. Cet appui de l'excellence scientifique est mené suivant des modalités diverses, en particulier des groupements de recherche nationaux (ex. Avec le CNRS, par le passé le GDR FORPRO sur les géosciences, le GDR MOMAS sur la simulation numérique et actuellement le défis NEEDS) et internationaux (ex. actuellement le projet DECOVALEX sur la simulation numérique du comportement thermo-hydromécanique des roches[77]), des partenariats avec de grands organismes de recherche, ou des grands programmes de recherche européens (ex. actuellement le *joint programming* EURAD qui réunit les agences, les évaluateurs comme l'IRSN, les organismes de recherche et auquel participe la société civile). Dans ce cadre le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne est un outil de recherche important pour mener des expérimentations *in situ* dans la roche argileuse, en particulier pour évaluer son comportement face à différentes sollicitations dont par exemple la thermique, et valider les modèles de comportement de la roche utilisé pour les travaux de conception et d'évaluation de sûreté du centre de stockage Cigéo.

En regard des enjeux, les travaux scientifiques ont fait et font toujours l'objet d'une évaluation indépendante continue à différents niveaux :

En premier lieu :

- par les pairs au travers en particulier des publications dans des revues à comité de lecture, des jurys de thèses, du Conseil scientifique de l'Andra, ou de la Commission nationale d'évaluation qui rend compte chaque année à l'OPECST et publie un rapport ;
- par les évaluateurs, en particulier l'IRSN et les revues internationales mandatées notamment par l'ASN ou le Groupe permanent déchets ;

En second lieu, par des expertises tierces, à l'initiative de parties prenantes comme le Clis (IEER) pour le « Dossier 2005 » (60) et le « Rapport d'Étape 2009 » (choix d'implantation du stockage) (68) ou par Géowatt en 2013 pour la géothermie du site d'implantation du projet global Cigéo.

Ces évaluations sont accessibles à tous, notamment sur les sites web de l'Andra et des évaluateurs. Et pour cette raison n'ont pas été systématiquement repris dans le dossier de demande d'utilité publique.

Cette connaissance scientifique a été examinée dans le cadre de l'instruction du « Dossier d'options de sûreté – Partie après fermeture » (DOS) (69) de et l'INB Cigéo, pour lequel l'ASN indiquait *« Considérant que le dossier d'options de sûreté montre notamment que l'Andra a :*

- *acquis une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne, qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage ;*
- *mené de nombreuses études pour caractériser les évolutions des différents composants du stockage (colis, matériaux métalliques, cimentaires et argileux) et a constitué un ensemble important de connaissances à ce sujet ;*
- *correctement identifié et étudié les perturbations (bactériennes, organiques, salines…) qui pourront affecter la roche hôte ainsi que les phénomènes qui se produiront pendant les transitoires (thermique, hydraulique, mécanique…) qui résulteront de l'implantation du stockage. Les résultats présentés tendent à indiquer que leur extension devrait être limitée par rapport à l'épaisseur de la roche hôte* ».

Ainsi, le choix du transfert de chaleur par conduction autour des alvéoles HA est notamment fondé sur les travaux de caractérisation du transfert de la chaleur dans le Callovo-Oxfordien, sur échantillons carottés en laboratoire jour, dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (expérimentation TER, TED, CRQ), sur l'analyse des profils géothermiques naturels mesurés en forages profonds réalisés depuis la surface, et sur les travaux menés par nos homologues ayant l'argile comme formation hôte (Nagra en Suisse et Ondras-Niras en Belgique), en particulier dans des laboratoires souterrains (Mont Terri en Suisse[79]; Hades en Belgique[81]). Ce choix est retenu par l'ensemble des scientifiques travaillant sur le sujet (cf. Par exemple l'exercice internationale de modélisation et simulation numérique DECOVALEX 2019, TASK E relative à l'essai thermique TED mené dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne[83], regroupant différentes équipes de recherche).

[77] https://decovalex.org
[79] www.mont-terri.cf

2.3.1.2 Le choix du gouvernement pour la Meuse/Haute-Marne

En 1996, l'Andra a déposé des demandes d'autorisation, d'installation et d'exploitation de laboratoires souterrains pour chacune des trois zones sélectionnées en 1993 (cf. Figure 2-22).

En décembre 1998 (70), suite à l'instruction de ces demandes, le Gouvernement acte :

- l'abandon des sites du Gard et de la Vienne pour des raisons techniques (cf. Justifications au chapitre 2.3.1.1 du présent volume) ;
- l'implantation d'un laboratoire souterrain sur le site Meuse/Haute-Marne, en vue d'étudier la faisabilité d'un centre de stockage géologique profond réversible dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien, ce site bénéficiant d'un contexte géologique *a priori* très favorable, à l'issu des investigations préliminaires, et d'un fort soutien local ;
- la poursuite des recherches sur le milieu granitique.



Figure 2-22 Dossier de demande d'autorisation d'installation et d'exploitation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne

En Août 1999, l'Andra a obtenu l'autorisation de construire le laboratoire souterrain dit Laboratoire de recherche souterrain de « Meuse/Haute-Marne» (71). La construction du Laboratoire de recherche souterrain a démarré en 2000 et en 2004, le creusement des puits du Laboratoire souterrain a atteint la couche argileuse du Callovo-Oxfordien à étudier (cf. Chapitre 2.3.2.1 du présent volume). Ce laboratoire souterrain de recherche n'a pas l'autorisation et n'est pas conçu pour la réception de déchets radioactifs.

Les travaux conduits dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et les investigations menées depuis la surface confirment ensuite progressivement la pertinence de la couche géologique pour l'implantation d'un stockage géologique en couche profonde (cf. Chapitre 2.3.2 du présent volume).

[81] https://euridice.be
[83] https://decovalex.org/D2019/overviex.html

Sur le plan technique, cette couche argileuse présente de nombreuses propriétés favorables à l'implantation d'un stockage en couche géologique profonde :

- une géologie simple, régulière et continue du Bassin parisien qui facilite l'extrapolation des observations faites localement à de plus grands volumes ;
- un éloignement des grands mouvements tectoniques, notamment ceux des Alpes et des Pyrénées. La sismicité en Meuse et en Haute-Marne, comme celle du Bassin parisien en général, est très faible[84] ;
- une profondeur importante, d'environ 500 mètres, capable de protéger très durablement les déchets des perturbations de surface et des risques d'intrusion involontaire (cf. Chapitre 2.2.6.1 du présent volume), tout en restant compatible avec la réalisation d'ouvrages de génie civil souterrain[85] ;
- une épaisseur d'au moins 120 mètres, qui, combinée avec son imperméabilité et ses propriétés de sorption[86] (cf. Chapitre 2.2.6.3.3 du présent volume), constitue une barrière particulièrement efficace à la migration des radionucléides et des substances toxiques contenus dans les déchets ;
- une structure locale continue, sans faille[87] ;
- un contexte hydrogéologique local favorable[88] ;
- une stabilité depuis son dépôt, il y a environ 160 millions d'années, permettant de bien appréhender l'évolution future du site à l'échelle du million d'années.

Sur le plan politique, la volonté des départements de la Meuse et de la Haute-Marne pour accueillir un laboratoire de recherche souterrain en vue de l'étude de la faisabilité d'un centre de stockage géologique a été confirmée. Les études ayant révélé que la couche argileuse du Callovo-Oxfordien des deux départements était continue, après s'être chacun porté volontaire pour l'accueil d'un laboratoire de recherche souterrain en vue de l'accueil d'un centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde, les départements de Meuse et de Haute-Marne ont fusionné leur candidature en 1995. Cette candidature porte sur l'accueil d'un laboratoire de recherche souterrain situé au sud du département de la Meuse, sur la commune de Bure, à proximité de sa frontière avec le département de la Haute-Marne. En 1997, des enquêtes publiques sont menées sur les sites des trois candidats à l'implantation du laboratoire, dont une pour le site Meuse/Haute-Marne. Pour ce site, les conseils municipaux de la zone des 10 km autour de Bure (30 votes favorables au projet, trois opposés) et les Conseils généraux de Meuse et de Haute-Marne votent pour l'accueil du laboratoire. Dans son avis du 1er février 2006 (49), l'ASN considère :

- d'une part que : « *le stockage en formation géologique profonde est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable ». L'ASN juge qu'il apparaît désormais raisonnable, si le Parlement décide du principe du stockage géologique des déchets de haute activité et à vie longue, de rechercher un périmètre propice pour leur stockage dans la zone de transposition définie par l'Andra au nord et à l'ouest du laboratoire de Bure. En effet, les résultats obtenus indiquent la forte probabilité de pouvoir démontrer la sûreté d'une installation de stockage sur la zone de transposition précitée.* » ;
- et d'autre part que : « *La recherche d'un site granitique en vue d'y implanter un second laboratoire ne paraît pas toutefois prioritaire du point de vue de la sûreté, notamment compte tenu des propriétés favorables reconnues sur le site de Bure.* ».

En juin 2006, sur la base des dossiers « argile » et « granite » de l'Andra, des rapports du CEA sur la séparation/transmutation et sur l'entreposage de longue durée, des conclusions du débat public et des avis de la DGSNR (qui deviendra l'ASN) et de la CNE, le Parlement adopte la loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs le 28 juin 2006. Le stockage profond réversible devient la solution de référence pour la gestion à long terme des déchets HA et MA-VL. L'État charge l'Andra de poursuivre les études, afin de concevoir et d'implanter un centre de stockage dans la couche d'argile du Callovo-Oxfordien à environ 500 mètres de profondeur, au sein de la zone de 250 km² (la zone de transposition, ZT) et étudiée notamment au moyen du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

[84] Zonage sismique de la France, mai 2011, articles R. 563-1 à R. 563-8 du code de l'environnement, modifiés par le décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 (72), et article D. 563-8-1 du code de l'environnement, créé par le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 (73).

[85] Avec la profondeur, les contraintes mécaniques (pression) augmentent. Elles rendent plus difficiles la conception, la construction et la maintenance des galeries et des ouvrages souterrains. Une profondeur de 500 mètres correspond à un bon équilibre entre l'éloignement de la surface et la difficulté de réalisation.

L'AVIS DES SCIENTIFIQUES DE LA COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (CNE) SUR LE SITE GRANITE DE LA VIENNE

Dans son rapport d'évaluation n° 2 (74), la CNE mentionne que le site étudié dans le département de la Vienne présente des conditions hydrogéologiques qui ne semblent pas favorables pour un éventuel stockage, tant au point de vue du granite lui-même que des aquifères sus-jacents.

Dans son rapport d'évaluation n° 3 (75), la CNE considère qu'en l'absence de concept de stockage propre à ce site précisant notamment le rôle de la barrière géologique, les risques de circulation de fluides entre le granite et les aquifères exploités augmentent considérablement la difficulté de qualifier ce site particulier pour un éventuel stockage. De plus, elle note qu'il faudra implanter un stockage de dimension kilométrique dans un site, composé de blocs utilisables de dimension hectométrique, obligeant à des scellements étanches et pérennes au passage des failles séparant ces blocs. L'évaluation de ce site conduit à constater l'existence d'aspects négatifs paraissant aujourd'hui incontournables et qui amènent la Commission à aller au-delà des réserves qu'elle avait exprimées dans le rapport précédent.

En 2011, après enquête publique, l'autorisation d'exploitation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne est prolongée jusqu'en 2030.

2.3.2 Les travaux et investigations menés pour confirmer le choix technique initial du stockage des déchets HA et MA-VL dans la formation du Callovo Oxfordien

2.3.2.1 Les travaux dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne

L'Andra dispose d'une connaissance fine du milieu géologique local grâce aux nombreux travaux de caractérisations menés depuis 30 ans, notamment au sein du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Les études décrites dans le présent chapitre ne constituent pas l'exhaustivité des travaux réalisés, mais procurent un aperçu significatif des grands sujets d'investigation. Les recherches qui sont menées dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne sont complémentaires des travaux de caractérisation menés depuis la surface du site et dans des laboratoires scientifiques classiques en surface.

2.3.2.1.1 La construction du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne

La construction du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a démarré en 2000 par les creusements successifs de deux puits verticaux. Le creusement de ces puits a permis, en complément des campagnes de reconnaissance depuis la surface (forages profonds, investigations par sismique réfraction, investigations de terrain, de vérifier que les couches géologiques traversées sont bien régulières et n'ont pas été altérées par des phénomènes naturels, par exemple des séismes ou des glaciations, ce qui confirme la qualité de la zone pour y implanter un stockage de déchets radioactifs HA et MA-VL.

Dès l'arrivée du premier puits d'accès au « toit » de la couche du Callovo-Oxfordien (sa partie supérieure), une petite galerie, dénommée la « niche », a été réalisée et l'Andra y a commencé des investigations.

Une fois le milieu de la couche du Callovo-Oxfordien atteint en 2004, un réseau de galeries a été progressivement déployé pour y mener des expérimentations au cœur de la roche. Le creusement et la réalisation des galeries, ainsi que leur suivi, peuvent constituer en tant que tel des expérimentations spécifiques, comme par exemple pour des

[86] La sorption correspond à la rétention, souvent sélective, en surface et à l'intérieur d'un solide, des espèces présentes dans un gaz ou dans un liquide.

[87] L'emplacement proposé pour la zone d'implantation du laboratoire est bloc de roche structuralement continu, non faillé, et suffisamment à l'écart de grandes structures géologiques.

[88] Il n'y a pas de formations aquifères importantes au-dessus en en dessous de la couche du Callovo-Oxfordien. La différence de pression entre les formations aquifères (gradients verticaux) présentes est faible.

essais de creusement par différentes techniques d'excavation (formation/tir à l'explosif, brise-roche hydraulique (BRH), machine à attaque ponctuelle (MAP), tunnelier à attaque ponctuelle) associés à différents types de revêtement (revêtement souple, rigide, à boulons radiaux et béton projeté, voussoirs préfabriqués…). Le suivi de ces ouvrages dans le temps à travers notamment les expérimentations SDZ [89] ou ORS [90] permettent ainsi d'appréhender les interactions entre le terrain et les ouvrages. L'ensemble des galeries fait l'objet d'un suivi géotechnique (suivi des fronts, convergence, extensométrie). Certaines galeries font l'objet d'un suivi renforcé par des mesures dans des forages creusés à leur périphérie avant excavation et d'une caractérisation détaillée de la fracturation de la roche après excavation. En particulier, l'expérimentation OHZ [91] a permis de comparer le comportement hydromécanique et de la fracturation induite par différentes méthodes de construction. Ces galeries sont représentatives des ouvrages du centre de stockage Cigéo, notamment les alvéoles pour le stockage des déchets MA-VL (cf. Chapitre 3.2.5.4 du présent volume).

Le réseau souterrain comprend aujourd'hui environ 2 000 mètres de galeries souterraines (cf. Figure 2-23), majoritairement au niveau principal du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne dans le Callovo-Oxfordien à -490 mètres.

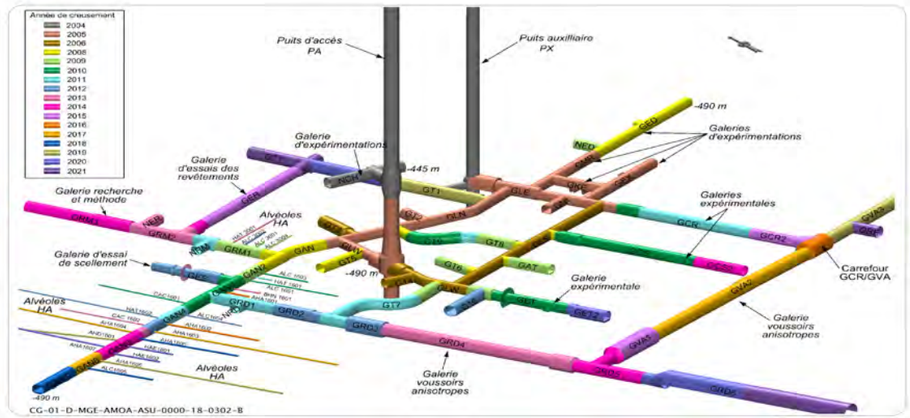


Figure 2-23 *Déploiement du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne entre 2004 et 2021*[92]

L'Andra est autorisée à exploiter le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne jusqu'en 2030 (DAIE, 2011 (76)). Les dates clés de son fonctionnement sont présentées dans le tableau 2-6.

Tableau 2-6Les dates clés du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne

Le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne en quelques dates clés	
Décembre 1998	Décision du Gouvernement de retenir le site de Meuse/Haute-Marne pour accueillir un laboratoire souterrain de recherche.
Août 1999	Décret d'autorisation d'installation et d'exploitation (DAIE) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne
Aout 2000	Début du creusement du puits principal d'accès (PA) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.
Novembre 2000	Début du creusement du puits auxiliaire (PX) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.
Octobre 2004	Arrivée du puits auxiliaire (PX) à -490 mètres (centre de la couche du Callovo-Oxfordien sur le site).
Novembre 2004	Mise en service de la galerie expérimentale à -445 mètres (au toit du Callovo-Oxfordien) à partir du puits auxiliaire (PA).
Depuis février 2005	Creusement, déploiement et exploitation des galeries expérimentales à -490 mètres.
2009	Premier creusement test d'un démonstrateur d'alvéole HA (jusqu'à 20 mètres de longueur).
Avril 2011	Kilomètre franchi pour la longueur cumulée de galeries du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.
Décembre 2011	Autorisation d'exploitation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne jusqu'au 31 décembre 2030 par décret du 22 décembre 2011(77) (2e DAIE).
Novembre 2013	Creusement sur 75 mètres d'une 1re galerie avec le tunnelier à machine à attaque ponctuelle sous jupe et pose d'un revêtement type voussoirs en béton armé.
Avril 2014	100 000e visiteur au Centre de Meuse/Haute-Marne.
Novembre 2016	Réalisation du premier démonstrateur d'alvéole HA : creusement, chemisage métallique (tube d'acier introduit dans l'alvéole) et injection d'un matériau de remplissage dans l'espace qui sépare la roche et l'extérieur du chemisage.
Novembre 2017	Franchissement du cap des 100 mètres de longueur avec un démonstrateur d'alvéole HA ; Réalisation sur 120 mètres de la seconde galerie avec un tunnelier à machine à attaque ponctuelle sous jupe et pose d'un revêtement en voussoirs en béton armé suivant différents tronçons avec différents types de voussoirs dont des voussoirs compressibles.
Décembre 2017	1 000e forages dans les galeries du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.
Février 2019	Mise en service d'une nouvelle niche de secours permettant d'augmenter l'effectif dans le Laboratoire souterrain, passant de 49 à 70 personnes.
Aout 2020	Second kilomètre franchi pour la longueur cumulée de galeries du Laboratoire souterrain.
Octobre 2020	Kilomètre franchi pour la longueur cumulée de démonstrateurs d'alvéoles HA au Laboratoire souterrain
Octobre 2021	Réalisation du premier carrefour à 4 branches (carrefour en X) au Laboratoire souterrain
Mi-2022	Finalisation du creusement du premier démonstrateur d'alvéole de stockage MA-VL (galerie de 9,85 mètres de diamètre et 80 mètres de long

89 L'expérimentation SDZ (acronyme de Saturation/Désaturation de l'EDZ) vise à évaluer le comportement hydraulique et hydromécanique des argilites autour d'un ouvrage ventilé, plus particulièrement étudier l'effet de la désaturation sur la zone fracturée et celui de la resaturation après une phase de ventilation prolongée sur le comportement du Callovo-Oxfordien autour d'un ouvrage (effet de gonflement sur le soutènement).

90 L'expérimentation ORS (acronyme d'Observation Revêtement Soutènement) vise à analyser l'interaction roche/structure dans le cas du creusement par méthode traditionnelle avec un décalage temporel entre la pause du soutènement et du revêtement et à étudier le comportement mécanique des différents couples soutènement/revêtement utilisés, tout en tenant compte des caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés.

91 L'expérimentation OHZ (acronyme de Observations Hydromécaniques de l'EDZ) vise à observer le comportement de la roche au pourtour immédiat des ouvrages souterrains (déformation, pression interstitielle, fracturation) et les interactions roche/soutènement dans l'ensemble du Laboratoire souterrain.

92 Les galeries souterraines du Laboratoire sont principalement perpendiculaires entre elles, car elles sont orientées suivant les deux directions principales horizontales des contraintes mécaniques (pression) dans le Callovo-Oxfordien.

2.3.2.1.2 L'évolution des activités du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne en lien avec les jalons du projet de centre de stockage Cigéo

Depuis plus de 15 ans, le Laboratoire de recherche souterrain a accompagné le projet de centre de stockage Cigéo et ses grandes étapes pour répondre aux besoins de conception et d'évaluation de sûreté (78). Les résultats obtenus ont nourri les différents dossiers du projet au fur et à mesure de son développement, plus particulièrement, le « Dossier 2005 » (60) sur la faisabilité de principe du stockage, le Rapport étape 2009 de proposition de choix de la zone d'implantation des installations souterraines et de surface du projet Cigéo sur la zone de transposition, et le « Dossier d'options de sûreté » (DOS) de 2016 (69, 79) en amont de la demande d'autorisation de création du centre de stockage Cigéo. L'objectif est notamment de s'assurer auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire, de la pertinence des options techniques retenues pour la conception du projet Cigéo en regard des objectifs de sûreté.

Les activités du Laboratoire de recherche souterrain se sont ainsi déployées progressivement sur un large spectre de domaines scientifiques et technologiques (géosciences, sciences des matériaux, travaux souterrains, monitoring…) et de disciplines associées (hydrogéologie, géomécanique, thermique, géochimie).

a) De 2000 à 2005 : démontrer la faisabilité de principe d'un stockage de déchets radioactifs HA et MA-VL dans le Callovo-Oxfordien en Meuse/Haute-Marne (le dossier 2005)

Durant la période de 2000 à 2005, les programmes d'études scientifiques et technologiques menés ont eu pour objectif de disposer d'éléments de connaissances relatives à la démonstration de la faisabilité de principe du stockage de déchets radioactifs de haute activité et moyenne activité à vie longue dans le Callovo-Oxfordien sur le site de Meuse/Haute-Marne. Les expérimentations réalisées au Laboratoire de recherche souterrain durant cette période ont été orientées pour obtenir les caractéristiques de la formation du Callovo-Oxfordien, et tout particulièrement sa capacité à confiner les radionucléides contenus dans les déchets radioactifs, et sa capacité à y réaliser des ouvrages souterrains.

En 2004, le creusement des puits du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a atteint la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, plus exactement le niveau d'implantation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, à environ 500 mètres de profondeur. À partir de 2004, 40 mètres de galeries étaient déjà en exploitation pour mener des travaux scientifiques de caractérisation des caractéristiques fondamentales du Callovo-Oxfordien (chimie des eaux interstitielles, perméabilité, diffusion des solutés, résistance mécanique…).

b) De 2006 à 2009 : consolider les connaissances en support au choix d'implantation de l'installation souterraine du projet Cigéo (le Rapport étape 2009)

Dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 (50), en s'appuyant sur l'ensemble des recherches, (campagnes de reconnaissance géologique, Laboratoire de recherche souterrain…), le « Dossier 2005 » (60) a statué sur les caractéristiques favorables du milieu géologique, et du Callovo-Oxfordien en particulier, et la faisabilité de principe d'un stockage de déchets HA et MA-VL dans le Callovo-Oxfordien sur la zone dite de transposition de 250 km² autour du Laboratoire de recherche souterrain. Ce rapport a été expertisé par la Commission nationale d'évaluation (CNE) mise en place par le Parlement et par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Il a été instruit par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et a fait l'objet d'un avis du groupe permanent d'experts en charge des déchets radioactifs.

À la demande du gouvernement, les travaux de l'Andra ont fait l'objet d'une revue par un groupe international d'experts. Ces évaluations ont confirmé les résultats de l'Andra sur la faisabilité technique et la sûreté d'un stockage profond de déchets HA et MA-VL dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, dans une zone de 250 km² dite zone de « transposition ».

À l'issue de l'examen des travaux de l'Andra et d'un débat public relatif à la gestion des déchets mené en 2005 (cf. Chapitre 2.6 du présent volume), le Gouvernement et le Parlement ont décidé par voie législative (5) de poursuivre les études et recherches sur le stockage géologique avec pour finalité la création d'un centre de stockage de ces déchets (cf. Chapitre 2.3.3 du présent volume).

À partir de 2006, les expérimentations scientifiques se poursuivent. Au-delà de la faisabilité acquise d'un stockage, leur objectif s'est progressivement orienté vers le support à la conception d'un centre industriel de stockage géologique. Elles ont notamment visé à :

- compléter les connaissances du Callovo-Oxfordien en support à la conception, au dimensionnement des ouvrages et aux analyses de sûreté, par une observation dans la durée de son comportement face aux sollicitations du stockage (thermique, mécanique, chimique…) ;
- étudier les technologies de creusement et de revêtement des ouvrages de stockage, en se concentrant de plus en plus précisément sur les solutions industrielles. À ce titre, l'Andra a testé plusieurs méthodes de creusement et de revêtement de galeries ou d'alvéoles dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ;
- soutenir les études d'ingénierie et préparer les étapes d'autorisation à venir d'un centre de stockage, notamment la demande d'autorisation de création.

La proposition de l'Andra d'une zone d'implantation pour l'installation souterraine d'environ 35 km² (dénommée ZIRA : zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie, localisation figure 2-1) située au sein de la zone de transposition, a été validée par le gouvernement en 2009. En parallèle, plusieurs zones ont été identifiées par l'Andra pour étudier l'implantation des installations de surface du centre de stockage Cigéo, notamment l'implantation du démarrage des descenderies d'accès au stockage dans une zone interdépartementale autour du Laboratoire de recherche souterrain, côté Haute-Marne, contiguë à la Meuse, et plusieurs scénarios d'implantation des puits d'accès au stockage, en privilégiant une implantation dans une zone boisée pour limiter la consommation des terres agricoles.

c) De 2009 à 2022 : concevoir le centre de stockage Cigéo en support au dossier de demande d'autorisation de création (DAC)

À partir de 2009, le projet Cigéo s'inscrit ainsi dans une logique de mise en œuvre industrielle. Les besoins prioritaires se déclinent autour d'un ensemble de questions opérationnelles relatives à la réalisation, à l'optimisation technico-économique, à la préparation des pistes d'optimisation futures, et à la surveillance de l'installation souterraine et du milieu géologique environnant. Les expériences menées à partir de cette date ont eu une portée désormais plus industrielle (néanmoins fortement couplée à des études scientifiques de compréhension des comportements des objets industriels en situation *in situ* proches de celles attendues dans l'installation souterraine du projet Cigéo) en soutien aux études d'esquisse en 2012 et d'avant-projet à partir de 2015 et à la demande d'autorisation de création (DAC). Elles sont menées à l'échelle la plus proche possible de celle des ouvrages industriels d'un centre de stockage (échelle 1) et couvrent les activités de creusement, de réalisation de génie civil (revêtement, soutènement, radier…), de surveillance (stabilité des ouvrages, vieillissement), de fermeture (scellement) ainsi que la préparation de pistes de développement technologiques pour d'éventuelles optimisations. Les expériences menées ont donc une portée progressivement de plus en plus proche de la réalité industrielle.

En 2005, l'Andra a remis à l'État un dossier scientifique, dénommé « Dossier 2005 – Les recherches de l'Andra sur le stockage géologique des déchets radioactifs à haute activité et vie longue » (80), présentant les résultats des 15 ans d'investigations géologiques et de recherches menées, en amont de la création du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, et des premières expérimentations scientifiques menées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, en réponse à la loi de 1991 (50) (cf. Chapitres 2.3.1 et 2.3.2.1 du présent volume).

À partir de 2009, le projet de centre de stockage Cigéo s'inscrit ainsi dans une logique de mise en œuvre industrielle. Les besoins prioritaires se déclinent autour d'un ensemble de questions opérationnelles relatives à la réalisation, à l'optimisation technico-économique, à la préparation des pistes d'optimisation futures, et à la surveillance de l'installation souterraine et du milieu géologique environnant. Les expériences menées à partir de cette date ont une portée désormais plus industrielle en soutien aux études d'esquisse en 2012, d'avant-projet à partir de 2015.

2.3.2.1.3 Les expérimentations conduites dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne

Les expérimentations conduites dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne visent à vérifier que le Callovo-Oxfordien présente bien les caractères favorables à un stockage de déchets radioactifs HA et MA-VL.

a) Les investigations menées depuis la surface

Les travaux scientifiques réalisés depuis la surface depuis plus de 25 ans pour progressivement caractériser le site permettent aujourd'hui de disposer de manière justifiée d'une représentation fine de la géométrie du sous-sol (nature des différentes couches géologiques, position et épaisseur) et des données nécessaires à la modélisation des phénomènes identifiés comme importants pour la conception et l'évaluation de la sûreté d'un stockage profond de déchets radioactifs

Depuis 1991, des campagnes de forages menées depuis la surface ont permis :

- de prélever des échantillons de roche pour leur analyse scientifique ;
- de caractériser l'ensemble du milieu géologique, y compris les couches au-dessus et en-dessous de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien ;
- de comprendre le contexte hydrogéologique et de développer un modèle numérique des écoulements des eaux souterraines ;
- de démontrer l'absence de ressources souterraines exceptionnelles ou particulières sur la zone.

Ces investigations géologiques menées depuis la surface ont progressivement permis d'identifier une zone de 250 km² environ, située autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, dans laquelle les résultats obtenus dans ce dernier pouvaient être transposés. Cette zone a été dénommée « Zone de transposition » (ZT). Elle est située à l'écart des zones de failles géologiques identifiées (fossé de Gondrecourt, faille de la Marne…). Ensuite, à partir de 2009, les investigations géologiques ont permis de caractériser plus finement une zone plus restreinte, dénommée « Zone d'intérêt pour la recherche approfondie » (ZIRA) d'environ 30 km² (cf. Chapitre 2.4.1.2.2 du présent volume). L'Andra dispose ainsi, sur une zone permettant l'implantation d'un stockage géologique, d'une représentation très fine des différents éléments constitutifs des unités géologiques, notamment en termes de géométrie, de structuration en unités géologiques et de distribution spatiale verticale et latérale des propriétés physico-chimiques.



Figure 2-24 *Forage de suivi géologique autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (Démanges aux Eaux)*

Ce programme de reconnaissance depuis la surface sur le secteur de Meuse/Haute-Marne s'organise autour de plusieurs démarches complémentaires :

- plus d'une quarantaine de forages profonds de plusieurs centaines de mètres (dont un de 2 000 mètres de profondeur) ont confirmé l'homogénéité de la formation-hôte et l'absence de faille. Les carottes qui en ont été extraites ont permis de préciser la géométrie des couches composant le sous-sol. Elles ont également permis d'approfondir les connaissances sur le comportement géomécanique du Callovo-Oxfordien et d'élaborer des modèles de comportement pour établir des prévisions d'endommagement de la roche au pourtour immédiat des ouvrages souterrains selon le type de méthode de construction de l'installation souterraine ;
- différentes campagnes sismiques 2D (200 km en 1994-1996) et 3D en 2000 (4 km²) et 2008-2010 (37 km²) sur le site ont permis de préciser la disposition des couches et les caractériser (épaisseur, profondeur, pendage…). Elles ont successivement permis d'obtenir une image en volume du site avec une résolution plus fine et confirmé que la couche argileuse du Callovo-Oxfordien est régulière avec une épaisseur supérieure à 120 mètres et une géométrie conforme à l'histoire des dépôts qui se sont succédé au Callovo-Oxfordien. Ces campagnes permettent aussi de montrer qu'aucune faille à jeu vertical supérieur à 2 mètres, n'est présente ni dans la couche du Callovo-Oxfordien, ni dans les horizons sus-jacents de l'Oxfordien calcaire ;
- des études de terrains ont permis d'observer les formations à l'affleurement (tant à l'échelle du Laboratoire de Meuse/Haute-Marne que du secteur), d'appréhender les grands traits de l'environnement géologique, de prélever des échantillons et d'intégrer les données dans des modèles ;
- des analyses au laboratoire souterrain du Centre de Meuse/Haute-Marne ont permis de tester les méthodes et les outils de caractérisation et de conforter le modèle géologique par l'apport de données sédimentologiques et microstructurales. Durant tout le creusement des puits à partir d'août 2000, les relevés continus de toutes les formations traversées ont permis d'établir une carte géologique détaillée de la paroi sur toute la hauteur des deux puits, d'évaluer la variabilité lithologique des couches à l'échelle décamétrique, d'observer leur nature selon les directions, de caractériser leur fracturation et micro-fracturation naturelle et d'en évaluer l'incidence sur les circulations de fluides. Les observations réalisées confirment les données sédimentaires et tectoniques déjà acquises par les forages et fournissent des données structurales quantifiées précises qui confortent le modèle géologique ;
- le potentiel géothermique du secteur a fait l'objet de différentes évaluations scientifiques et techniques au cours des quinze dernières années. La question du potentiel géothermique se pose car une exigence de sûreté édictée par l'ASN (81) est qu'il n'y ait pas de ressource particulière ou exceptionnelle au sein de la zone d'implantation d'un centre de stockage géologique afin de ne pas inciter, dans le futur, une activité d'exploitation du sous-sol susceptible d'engendrer une intrusion dans le stockage souterrain. Un forage a ainsi été réalisé en 2007-2008, à la demande du Clis du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, dans le cadre d'un programme, baptisé TAPSS 2000, organisé entre l'Andra et un consortium de 21 laboratoires (Universités françaises, CNRS, IFPEN, BRGM, IRD et IRSN). Si la géothermie est présente partout dans le Bassin parisien, ce forage a montré qu'il n'y avait aucun caractère particulier ou exceptionnel de la ressource géothermale au droit du site considéré. Les contre-expertises indépendantes de l'IRSN, du BRGM et de Géowatt (mandatée par le Clis), ainsi que par la Commission nationale d'évaluation n'ont pas remis en cause cette conclusion. La question du potentiel géothermal dans le secteur de Bure a fait l'objet de plusieurs recours en justice qui ont tous donné lieu sur le fond à des décisions favorables à l'Andra, reconnaissant qu'elle n'avait pas commis de faute dans l'exercice de sa mission d'information sur le potentiel géothermique.

Ces travaux visent à acquérir une compréhension fine de l'environnement et du milieu géologique du site de Meuse/Haute-Marne pour :

- s'assurer que cet ensemble et plus particulièrement la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, présente les propriétés attendues ;
- évaluer son comportement à long terme.

La méthode progressive de localisation d'un éventuel stockage au sein de la couche du Callovo-Oxfordien, qui résulte d'arbitrages techniques et socio-économiques, est présentée aux chapitres 2.5.2 et 2.5.3 du présent volume.

La justification des grands choix d'implantation et de conception du centre de stockage sont présentés aux chapitres 2.5.2 et 2.5.3 du présent volume. La description de ses installations et ouvrages fait l'objet du chapitre 3 du présent volume.

LA RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE EN QUELQUES CHIFFRES

- 200 km de profils sismique 2D, 4 km² de sismique 3D autour du LS, 37 km² de sismique 3D haute résolution sur la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) ;
- un forage jusqu'à 2 000 mètres de profondeur en 2007/2008 (pour évaluer le potentiel géothermal du site), avec un consortium de 21 laboratoires (Universités françaises, CNRS, IFPEN, BRGM, IRD et IRSN) ;
- environ 2 km de galerie dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne à fin 2019 ;
- environ 80 expériences scientifiques et technologiques dans le LS menées à fin 2019 depuis 2000 ;
- plus d'une centaine de thèses et des dizaines de laboratoires de recherche académique et appliquées mobilisées ;
- deux grands programmes de recherche nationaux coordonnés par le CNRS depuis 1997 : FORPRO puis NEEDS.

b) La caractérisation géologique et hydrogéologiques

Des expérimentations dédiées à la caractérisation géologiques et hydrogéologiques telles que les expérimentations GIS[93], TER[94], TED[95], et PGZ[96] permettent de vérifier que les phénomènes physiques liés au stockage (dégagement de chaleur par les déchets, ventilation des galeries…) ne sont pas de nature à altérer des propriétés favorables naturelles du Callovo-Oxfordien vis-à-vis du confinement des radionucléides.

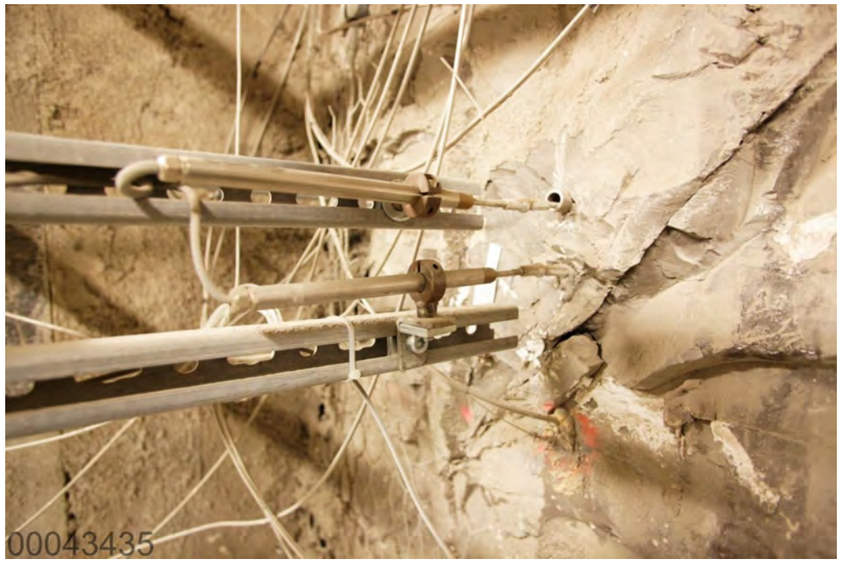


Figure 2-25 *Expérimentation de mesures potentiométriques dans le Callovo-Oxfordien (expérimentation TER) dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne*

LES EXPERIMENTATIONS DANS LA NICHE A – 445 METRES DE PROFONDEUR

Les premières expérimentations mises en place, à partir de 2004, dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne dans la niche ont été axées sur la composition de l'eau porale contenue dans le Callovo-Oxfordien (expérimentation PAC), la perméabilité du Callovo-Oxfordien (expérimentation PEP) et les coefficients de diffusion et les porosités accessibles à la diffusion du Callovo-Oxfordien (expérimentation DIR) qui sont des données d'entrée nécessaires à l'évaluation de la migration des éléments radioactifs. Les résultats de l'ensemble de ces travaux ont démontré la capacité de confinement du Callovo-Oxfordien (très faible perméabilité, faibles coefficients de diffusion, forte capacité rétention pour l'essentiel des radionucléides).



Figure 2-26 *La niche expérimentale à -445 mètres dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne*

Les caractéristiques physico-chimiques du Callovo-Oxfordien ont été évaluées en particulier grâce à des tests en laboratoire de surface sur des échantillons prélevés au fond (perméabilité à l'eau, diffusion des éléments en solution, rétention des éléments chimique) et, dans le laboratoire, grâce à des essais de diffusion de solutions chimiques contenant des traceurs. Ces travaux démontrent que cette roche :

- présente une perméabilité extrêmement faible. Les circulations d'eau y sont très lentes. Une molécule d'eau n'y parcourt que quelques centimètres en 100 000 ans. Les éléments radioactifs « mobiles » (cf. Chapitre 2.2.6.3.3 du présent volume) s'y déplacent très lentement par diffusion ;
- possède de fortes capacités de sorption[97] pour la majeure partie des éléments radioactifs, liées à la présence, en son sein, de minéraux argileux qui les fixent à leur surface, par exemple de la smectite[98] ;
- constitue un environnement chimique dans lequel la quasi-totalité des radionucléides est très peu soluble.

[93] L'expérimentation GIS (acronyme de Géomécanique *in situ*) est une expérimentation qui vise à réduire les incertitudes sur les paramètres mécaniques mesurés sur échantillon en analysant les effets d'échelle.

[94] L'expérimentation TER (acronyme de réponse de l'argilite à des sollicitations THErmiques) consiste en l'évaluation du comportement thermo-hydromécanique (THM) du Callovo-Oxfordien à partir d'un essai de chauffe réalisé avec un forage chauffant. TER est la première expérimentation thermique mise en place au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Une sonde chauffante a été conçue pour imposer une température de 90 °C à la paroi d'un forage (représentatif de la température maximale attendue dans le Callovo-Oxfordien dans les conditions d'exploitation de Cigéo). Les caractéristiques thermos hydromécaniques sont déduites par analyse inverse de l'essai et comparées à celles mesurées en parallèle sur échantillons issus des forages de l'expérimentation.

[95] L'expérimentation TED (acronyme d'expérimentation ThErmique Deux) consiste en l'évaluation du comportement THM du Callovo-Oxfordien à partir d'un essai de chauffe réalisé en forages (trois forages chauffants et forages périphériques pour l'instrumentation). L'expérimentation TED est la deuxième expérimentation thermique mise en place au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (fait suite à l'expérimentation TER). Les caractéristiques thermos hydromécaniques sont déduites par analyse inverse de l'essai et comparées à celles mesurées sur échantillons prélevés dans les forages de l'expérimentation.

[96] L'expérimentation PGZ (acronyme de perturbation hydromécanique induite par les gaz dans l'argilite saine) vise à étudier des processus de transfert de gaz dans le Callovo-Oxfordien. L'essai PGZ1 est focalisé sur l'amélioration de la compréhension des processus de transfert de gaz dans l'argilite saine, à savoir (i) déterminer les mécanismes contrôlant l'entrée du gaz et sa migration dans l'argilite saine et (ii) déterminer la pression d'entrée de gaz, les seuils de microfissuration et de fracturation dans l'argilite saine.

[97] La sorption correspond à la rétention, souvent sélective, en surface et à l'intérieur d'un solide, des espèces présentes dans un gaz ou dans un liquide.

[98] La smectite est une des quatre familles des argiles, les trois autres étant les kaolinites, les illites et les chlorites. La smectite possède des propriétés de gonflement et une forte capacité de rétention des radionucléides.

L'EXPÉRIMENTATION DIR - ZOOM SUR L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DE TRANSFERT DE SOLUTES ET DE RADIONUCLÉIDES MOBILES DANS LE CALLOVO-OXFORDIEN

Afin de prédire et de modéliser le transfert des solutés et des radionucléides dans le Callovo-Oxfordien, sept expérimentations de Diffusion de traceurs Inertes et Réactifs, regroupées sous l'acronyme « DIR », ont été conduites dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne à partir de 2005. Leur objectif était de vérifier, sur une distance pluricentimétrique, les comportements-types de solutés :

- de molécules d'eau tritiée (HTO), qui donne accès à la géométrie de la porosité ;
- des traceurs anioniques (^{36}Cl, ^{125}I) ;
- des traceurs cationiques subissant l'effet de la rétention chimique (^{22}Na, ^{85}Sr, ^{134}Cs).

Les essais ont été menés à différentes profondeurs pour vérifier si les variations de la minéralogique ont un effet sur la diffusion :

- trois essais au niveau de la galerie -445 mètres ;
- trois essais au niveau de la galerie -490 mètres ;
- un essai à 542 mètres de profondeur dans un forage réalisé depuis la surface.

Le principe d'une expérimentation DIR consiste à mettre la roche en contact avec une eau comprenant un mélange des divers « traceurs » (à partir d'une chambre d'injection forée dans la roche et fermée par un obturateur). Après l'injection du mélange des traceurs dans la chambre, leur concentration dans la chambre est suivie sur plus de 1 000 jours. À la fin de cette phase, le volume de roche où les traceurs type ont diffusé (au maximum environ une vingtaine de centimètres) est prélevé par sur-carottage de grand diamètre et les profils de concentration des différents traceurs types dans la roche à partir de la paroi de la chambre d'injection sont alors mesurés suivant plusieurs directions en horizontale. Au total, 55 profils de concentration ont été acquis à partir des expérimentations dans le Laboratoire souterrain.

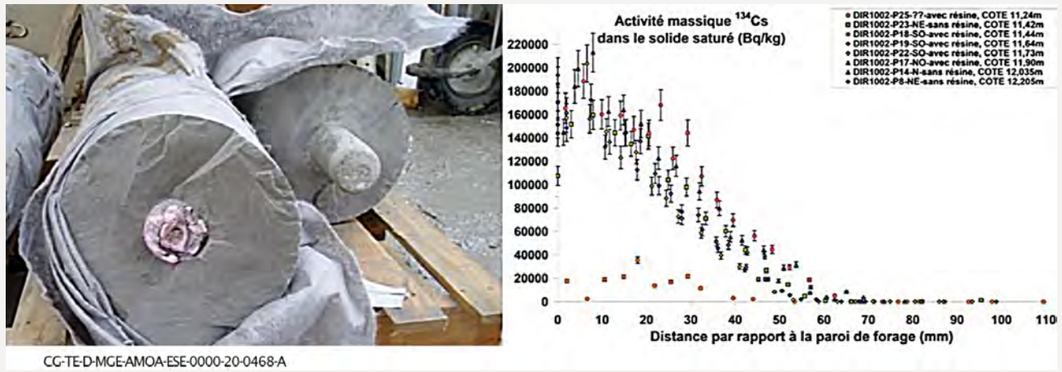


Figure 2-27 *Photographie d'une sur-carotte de roche en fin d'une expérience DIR (expérience DIR2002) et profils d'activités massiques en ^{134}Cs dans une sur-carotte de roche depuis la paroi de la chambre d'injection (expérience DIR1002)*

Les paramètres de diffusion dans le Callovo-Oxfordien sont déterminés de l'interprétation des mesures et des profils (coefficient de diffusion, porosité accessible à la diffusion, coefficients de rétention…). Les résultats des expériences DIR confirment les propriétés favorables du Callovo-Oxfordien pour le confinement des radionucléides qui se traduit physiquement principalement par :

- la forte rétention des solutés cationiques ;
- les faibles valeurs de coefficients de diffusion, quelle que soit la forme ionique du soluté (anion, cations, neutre) ;
- l'absence d'anisotropie significative de la diffusion horizontale et verticale.

c) Les tests de méthodes de creusement

De nombreux tests de méthodes de creusement (cf. Figure 2-31) et de procédés de revêtements/soutènement des galeries, de dispositifs de fermeture d'un stockage (scellement) ont été menés dans le Laboratoire souterrain. L'observation du comportement mécanique des ouvrages (certains depuis 15 ans) a permis de confirmer leur bonne tenue mécanique et la faisabilité technique de leur construction, leur bonne tenue mécanique dans le temps et la capacité de fermeture d'un stockage dans le Callovo-Oxfordien.



Figure 2-28 *Différentes techniques de creusement testées au Laboratoire souterrain : le brise roche hydraulique (à gauche), la machine à attaque ponctuelle (en haut à droite) et la machine à attaque ponctuelle sous jupe avec tunnelier (en bas à droite)*

Pour les ouvrages de grandes dimensions (alvéoles de stockage MA-VL et galeries, cf. Chapitre 3.2.5.4.1 du présent volume), un important programme de caractérisation et de faisabilité a été mis en œuvre au Laboratoire de recherche souterrain en suivant une approche progressive et incrémentale, tant en termes de technique de creusement et de dimension (*i.e.* Diamètre) que de méthode de revêtement/soutènement. Depuis 2009, le dimensionnement mécanique des structures du stockage et la justification de leur tenue mécanique durant la période de fonctionnement séculaire du projet de centre de stockage Cigéo sont étudiées à des échelles représentatives. Différents types de soutènements/revêtements en béton ont été mis en place avec notamment un objectif d'optimisation des épaisseurs de béton. À ce titre, il a été testé au Laboratoire de recherche souterrain :

- plusieurs méthodes de creusement[99] : brise-roche hydraulique, machine à attaque ponctuelle, machine à attaque ponctuelle sous jupe avec tunnelier…) ;

[99] Par exemple, le brise-roche hydraulique qui attaque la roche comme un marteau piqueur ou la machine à attaque ponctuelle qui rogne la roche en tournant (sorte de fraise munie de picots).

- plusieurs types de revêtement/soutènement :
  - ✓ béton projeté (expérimentation BPE) ou béton coulé en place : soutènement souple (composé de cales compressibles en béton accompagnant la convergence de la roche) ou soutènement rigide (bloquant la convergence de la roche) ;
  - ✓ voussoirs (ex. expérimentation TPV), éléments préfabriqués en béton armé disposés en anneaux successifs et mis en place au fur et à mesure du creusement [100].

Le développement séquentiel du réseau des galeries du Laboratoire de recherche souterrain depuis 2005 traduit l'évolution des expérimentations. Ainsi, le diamètre des galeries expérimentées passe initialement de l'ordre de 5 m à 6 m, à environ 8 m puis 9 m en 2015 jusqu'à presque 10 mètres en 2021 (expérimentation OMA) représentatifs des ouvrages type alvéoles MA-VL et des galeries proches des concepts de référence du centre de stockage Cigéo. L'architecture des ouvrages et leurs comportements sont aussi étudiés, comme par exemple la réalisation du premier carrefour à quatre branches en 2021 au Laboratoire de recherche souterrain

Les alvéoles HA sont des tunnels borgnes (non débouchant), légèrement en pente, de diamètre utile d'environ 60 cm et d'une longueur d'environ 80 mètres dans le quartier pilote HA ou de 150 mètres dans les quartiers de stockage HA (cf. Chapitre 3.2.5.4.2 du présent volume). Les expérimentations menées au Laboratoire de recherche souterrain, ont permis de creuser plus d'une vingtaine de maquettes d'alvéoles représentatives, de longueur croissante (faisabilité démontrée sur 110 mètres de longueur avec le démonstrateur AHA 1604), de mettre en place leur chemisage métallique, le matériau cimentaire entre la roche et ce chemisage pour favoriser la faible cinétique de corrosion de ce dernier, ainsi que le dispositif d'inertage (alvéole AHA 1607). Leur comportement thermo-hydromécanique (chargement et déformation mécaniques) a été étudié confirmant leur bonne tenue sur une durée de fonctionnement séculaire, compatible avec la mise en place et le retrait éventuel des colis de stockage HA.

d) L'étude du comportement des différents matériaux utilisés

Des expérimentations ont été et sont encore réalisées pour étudier le comportement, au contact de la roche et dans les conditions d'un stockage, des différents matériaux utilisés pour la construction d'ouvrages souterrains ou pour le confinement de la radioactivité :

- le verre borosilicaté, utilisé comme matrice d'enrobage des résidus calcinés issus du retraitement du combustible irradié dans les colis de déchets HA a fait l'objet d'investigations pour confirmer sa performance en matière de confinement et étudier son altération dans le temps en conditions de stockage. Les différentes campagnes d'essais MVE[101] prennent en compte le couplage avec le milieu environnant (verre/fer/roche) et permettent de quantifier les vitesses d'altération des différents régimes transitoires qui se succèdent à long terme (vitesse initiale, chute de vitesse et vitesse résiduelle) en supports aux évaluations de sûreté ;
- l'acier, utilisé notamment pour les conteneurs des colis HA, a été exposé à un ensemble de conditions d'environnement physicochimiques prévisibles dans le temps[102]. Différentes campagnes d'essais (essais MCO[103]) montrent que leurs vitesses de corrosion sont faibles à très faibles (quelques microns par an) dans les conditions du stockage. Ces résultats ont permis de sélectionner les nuances d'acier et de dimensionner les épaisseurs des conteneurs des colis de déchets HA et du chemisage des alvéoles HA (cf. Chapitres 3.2.5.4 du présent volume) ;
- les bétons, largement utilisés dans un stockage, plus particulièrement pour le revêtement/soutènement des galeries et pour les conteneurs de stockage des déchets MA-VL, font l'objet d'essais pour évaluer leur durabilité. Ces essais montrent que leur dégradation chimique est très lente. Leur dégradation mécanique intervient après plusieurs centaines à milliers d'années et leur dégradation chimique après plusieurs centaines de milliers d'années. L'effet chimique du ciment sur la roche se limite à quelques décimètres au maximum.

En complément des essais de creusement et de revêtement sur les galeries du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, représentatif des alvéoles pour le stockage des déchets MA-VL, un important programme de démonstrateurs d'alvéoles pour le stockage des déchets HA a été développé au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne en suivant une logique progressive d'évaluation de leur faisabilité technologique. Huit alvéoles chemisées ont ainsi été réalisées successivement au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne entre 2009 et 2013 (expérimentations ALC, CAC et ERA) avec des longueurs augmentant progressivement. L'optimisation progressive de la machine de creusement a permis de démontrer dès 2012 la faisabilité d'un alvéole chemisé de 100 mètres de longueur (alvéole HAT1602) représentative des ouvrages prévus pour le centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 3.2.5.4 du présent volume).

e) L'étude des ouvrages de fermeture

Les travaux dans le Laboratoire souterrain ont aussi porté sur l'étude des ouvrages de fermeture selon trois axes interdépendants : la faisabilité technologique, le comportement hydromécanique et hydraulique en grand des scellements de galeries et le comportement hydraulique-gaz des matériaux à base de bentonite *in situ*, en particulier aux interfaces avec la roche :

- concernant la faisabilité technologique, les premiers essais ont porté sur le concept de coupure hydraulique de la zone endommagée, en support au « Dossier 2005 – Les recherches de l'Andra sur le stockage géologique des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue : résultats et perspectives » (80) (expérimentations KEY[104], TSS[105]), en termes à la fois de faisabilité de la saignée et de comportement. L'expérimentation SET (Essai de remplissage de saignée) réalisé en surface sur une maquette à l'échelle ½ du centre de stockage Cigéo a aussi permis de vérifier la capacité à remplir avec de la bentonite, de façon continue, une saignée périphérique (taillée dans le Callovo-Oxfordien et faisant office de coupure hydraulique de l'EDZ), à l'aide d'un robot télé-opéré. La faisabilité de noyau de scellement de galerie a été mené en 2012, par l'essai NSC[106] à l'échelle d'une galerie de 4 mètres de diamètre ; en parallèle un démonstrateur de faisabilité à l'échelle d'une galerie de 7 mètres de diamètre avec des hors profils a été réalisé au jour (expérimentation FSS[107]) ;
- concernant Le comportement hydromécanique et hydraulique/gaz en grand des scellements de galeries, les travaux ont reposé sur l'essai NSC et un essai de resaturation au jour à échelle métrique (REM). Enfin, différents essais en forages ont été menés afin d'évaluer le comportement hydraulique et hydraulique gaz des bentonites et de leur interface avec la roche (expérimentation PGZ2[108]).

[100] Dans le cas d'un tunnelier, le soutènement est composé d'éléments préfabriqués en béton armé disposés en anneaux successifs, dénommés « voussoirs », mis en place au fur et à mesure du creusement de la galerie. Différents types de voussoirs ont été testés dans le laboratoire souterrain, y compris des voussoirs compressibles.

[101] Les expérimentations MVE (acronyme de Matériaux VErre) vise à évaluer la vitesse d'altération des déchets vitrifiés HA en présence de matériaux d'environnement. Le principe de l'expérimentation consiste en un forage descendant permettant de tester le comportement *in situ* de poudre de verre au contact de l'argilite.

[102] Conditions chaudes et humides contenant de l'oxygène et conditions anoxiques (absence d'oxygène) saturées en eau et à la température naturelle du sous-sol.

[103] L'expérimentation MCO (acronyme de Matériaux COrrosion) vise à préciser le rôle des conditions d'environnement (saturées, atmosphère humide) ainsi que des matériaux d'environnement (Callovo-Oxfordien, eau porale du Callovo-Oxfordien, matériau de remplissage) sur la corrosion. Le principe de l'expérimentation consiste en la mise en place de porte-échantillons contenant des coupons d'aciers dans des cannes extractibles qui sont ensuite disposées dans un forage vertical descendant.

[104] L'expérimentation *Key* (anglicisme signifiant « clé » en français et représentant un dispositif de saignée de faible épaisseur au niveau des scellements) vise à évaluer l'efficacité des saignées radiales vis-à-vis d'un court-circuit hydraulique éventuel provoqué par la connexion de fractures parallèles à la direction de la galerie d'essai et à vérifier l'efficacité hydraulique de l'application d'une pression de gonflement dans la saignée. Le principe de l'expérimentation consiste en la réalisation de saignées radiales de faible épaisseur (au radier d'une galerie) pour vérifier le fonctionnement hydromécanique des saignées.

[105] L'expérimentation TSS (acronyme de Test Scellement et Saignées) vise à réaliser une saignée sur tout le pourtour d'une galerie (0,30 mètre d'épaisseur et 2,50 mètres de profondeur) *in situ* (dans le Callovo-Oxfordien) et suivre sa géométrie et sa stabilité pour démontrer la constructibilité de ce type d'ouvrage et étudier son évolution dans le temps. Le principe de l'expérimentation consiste à réaliser une saignée radiale de faible épaisseur (environ 30 cm) sur tout le pourtour d'une galerie et suivre son comportement hydro-mécanique au cours du temps.

[106] L'expérimentation NSC (acronyme de Noyau de Scellement) vise à évaluer la performance hydraulique globale d'un scellement de galerie : cela comprend donc le scellement lui-même mais aussi la zone d'interface avec la roche et la zone endommagée en champ proche autour du scellement. Le principe de l'expérimentation NSC consiste à réaliser un scellement à l'échelle d'une galerie du Laboratoire souterrain (5 mètres de diamètre) avec un noyau de scellement (matériau à base d'argile gonflante) entre deux massifs d'appui en béton. Le noyau de scellement est hydraté artificiellement à l'aide de membranes d'hydratation puis une fois la saturation atteinte un test de perméabilité globale est réalisé entre l'amont et l'aval du scellement pour estimer la perméabilité équivalente (« en grand ») du scellement.

[107] L'expérimentation FSS (acronyme de *Full Scale Sealing* – Scellement échelle 1 en français) vis à démontrer la constructibilité industrielle, à l'aide d'une maquette de taille pluri-décamétrique, d'un scellement pleine échelle représentatif d'un ouvrage de fermeture horizontal du centre de stockage Cigéo (constitué d'un noyau d'argile gonflante et de massifs d'appui en béton bas pH). Le principe de l'expérimentation est la construction un ouvrage (tunnel en béton) au gabarit d'une galerie représentative d'un scellement du centre de stockage Cigéo (environ 10 mètres de diamètre) et d'y installer les éléments constitutifs de l'objet à réaliser (composé d'un noyau d'argile gonflante positionné entre deux massifs d'appui en béton), en respectant le schéma conceptuel d'un ouvrage de fermeture horizontal du stockage. L'essai a été réalisé dans le cadre du projet européen DOPAS « *Full-Scale Demonstration Of Plugs And Seals* ».

[108] L'expérimentation PGZ (acronyme de Perturbation HM induite par les gaz dans les noyaux de scellement) vise à étudier des processus de transfert de gaz dans les ouvrages de fermeture. Le principe de l'expérimentation consiste à mettre en place différents noyaux de bentonite (à base d'éléments compactés ou de pellets) dans des forages de 101 mm de diamètre et de suivre leur resaturation en présence ou non de gaz, afin d'étudier l'effet du gaz sur la resaturation. Après resaturation, le noyau est soumis sur une face à une pression de gaz pour étudier le comportement au gaz du noyau et de l'interface

Les études menées depuis presque 20 ans dans le Laboratoire souterrain confirment que les propriétés du Callovo-Oxfordien, associées à son épaisseur d'au moins 120 mètres, constituent un piège pour l'essentiel des substances radioactives et toxiques (confinement et transfert très lent sur plusieurs centaines de milliers d'années). Par ailleurs, les caractéristiques mécaniques de cette roche sont compatibles avec la construction et le bon fonctionnement d'un stockage en exploitation et à long terme :

- technologies de construction des ouvrages de stockage, avec un focus de plus en plus précis sur les concepts de référence.

Le creusement d'une galerie endommage la roche en créant une zone fissurée à son pourtour immédiat. Lors de la fermeture de l'installation, il faut éviter que ces fissures favorisent localement une circulation rapide de l'eau suivant une voie de migration préférentielle qui empêche les scellements et la roche de jouer leur rôle de confinement des radionucléides. Pour montrer que cela est possible industriellement, différentes solutions techniques ont été testées. Des essais dits de « coupure hydraulique » ont été menés dès 2010 (expérimentations KEY, TSS et SET), consistant à purger la zone fissurée et à la remplir avec de l'argile gonflante. De nombreux travaux menés au Laboratoire de recherche souterrain ont permis d'évaluer *in situ* dans des configurations proches ou identiques à celles des scellements du centre de stockage Cigéo, les comportements hydromécaniques et au gaz des bentonites (expérimentation PGZ2). La faisabilité de la mise en place d'un noyau de scellement de galerie à base d'argile gonflante a été démontrée expérimentalement à une échelle de 5 m à 6 m de diamètre dans le Laboratoire de recherche souterrain (expérimentation NSC). En parallèle, l'essai technologique FSS (Full Scale Sealing) réalisé entre 2013 et 2015 en surface sur une maquette de galerie à l'échelle 1 du centre de stockage Cigéo, a permis de vérifier la capacité industrielle à construire un scellement de galerie de grandes dimensions (noyau en bentonite sous forme de pellets et massif d'appui en béton), au travers notamment de la mise au point d'une machine d'ensilage assurant la pose en continu du noyau d'argile gonflante, et la formulation de mélanges bentonitiques et des bétons bas pH répondant aux exigences d'un scellement de galerie.

f) La préparation de la surveillance du centre de stockage Cigéo dans la perspective de sa mise en service

Le Laboratoire de recherche souterrain permet de développer et tester les moyens techniques de surveillance envisagés pour le centre de stockage Cigéo (capteurs, transfert des données…), avec un objectif à terme de démontrer la capacité de suivre et maitriser le fonctionnement du centre de stockage Cigéo, comme toute installation nucléaire de base. Le Laboratoire de recherche souterrain est ainsi actuellement instrumenté avec des milliers de capteurs, mis en place depuis le début de sa construction. Ils ont permis d'acquérir de multiples mesures et de suivre en continu l'ensemble des expérimentations (expérimentations TSF[109] ou AHA[110]). Des dispositifs de monitoring développés sur la base de capteurs existants ou innovants ont été spécifiquement testés, comme par exemple des fibres optiques ou des extensomètres à corde vibrante, pour tester le comportement thermique et/ou mécanique de composants du centre de stockage Cigéo (chemisage HA, revêtement/soutènement de galerie). L'utilisation de robot instrumenté est également testée pour la surveillance de zones plus difficiles d'accès (robot SAM, robot SCAR…). À ce jour, plus de deux milliards de données ont été collectées à l'aide d'un système informatique de gestion de données. Les capteurs et les systèmes de transmission de données (utilisant par exemple des fibres optiques) sont ainsi qualifiés et testés en termes de précision et de durabilité.

2.3.2.1.4 Le retour d'expérience suite aux travaux menés dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne pour assurer la sécurité des travailleurs

L'analyse approfondie des accidents survenus au sein du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne est systématiquement conduite par l'Andra ou par des experts indépendants pour les accidents les plus graves. Des retours d'expérience en sont tirés pour l'amélioration des chantiers actuels et capitalisés en vue des futurs chantiers de construction bien que les caractéristiques puissent être assez différentes. Dans tous les cas, les accidents/incidents survenus relèvent de problématiques de chantiers sans lien ni remise en cause des caractéristiques du milieu géologique et des fondamentaux du stockage.

roche/noyau. La comparaison des différents essais permet d'identifier les processus au regard du type de noyau de scellement.

[109] L'expérimentation TSF (acronyme de Transmission Sans Fils) vise à Démontrer la faisabilité d'une transmission sans fil au travers la roche. Le principe de l'expérimentation consiste à réaliser le suivi de mesures des propriétés d'un bouchon de bentonite dans un forage de grand diamètre situé en galerie GEX au moyen d'un système de mesure sans fil.

Ces retours d'expérience sont présentés de manière synthétique ci-après. Ces éléments sont également présentés dans l'étude de maîtrise des risques du dossier de demande d'autorisation de création qui, conformément à l'article R. 593-19 du code de l'environnement, présente « *une analyse des retours d'expériences d'installations analogues* ».

a) Les incidents et accidents survenus au sein du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne

Le présent chapitre revient sur les conditions dans lesquelles se sont produits les accidents mortels et graves dans l'installation souterraine, depuis le début de sa construction (à savoir les deux accidents mortels de 2016 et 2002, et un accident ayant entrainé un long arrêt maladie pour un employé en 2010) et les retours d'expérience intégrés à la suite. La deuxième partie est consacrée à l'accidentologie en général, sa traçabilité et le processus d'amélioration continue associée.

Les accidents mortels et graves

Le 26 janvier 2016, un accident de chantier s'est produit dans le niveau principal du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, sis à 490 mètres de profondeur, au cours du creusement du carrefour de grand diamètre GCR2/GVA2, au front de la travée « T13 ». La galerie GVA2 n'étant pas encore creusée.

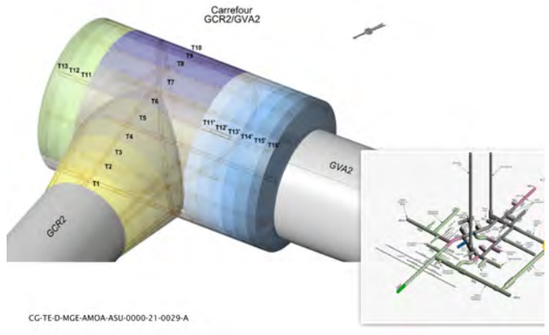


Figure 2-29 Carrefour GCR2/GVA2 réalisé dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne

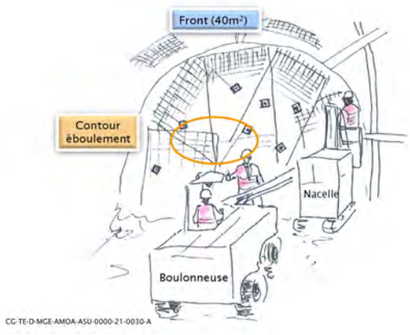


Figure 2-30 Schéma de boulonnage

Cet accident est intervenu alors que trois employés de l'entreprise Eiffage effectuaient une opération de confortement des parois de la galerie à proximité immédiate du front de taille (T13). Cette étape du cycle de creusement/soutènement, mainte fois réalisée sans jamais causer d'incident, ni d'accident en dix ans, consiste à poser des boulons métalliques radiaux à l'aide d'une boulonneuse afin de maintenir la roche.

Environ huit mètres cube de roche se sont soudainement décrochés du front de taille (d'une surface totale de 40 m^2), pourtant sécurisé par 17 boulons de fibre de verre et du treillis soudé, et les débris de roche sont tombés sur un des intervenants. Malgré l'intervention très rapide des secours, celui-ci est décédé. Les deux autres employés ont été pris en charge et orientés vers les secours médicaux : l'un a été légèrement blessé à la main et l'autre choqué psychologiquement.

Suite à cet accident, une instruction judiciaire a été ouverte afin d'en déterminer les causes précises et les responsabilités associées. Cette procédure est toujours en cours auprès du tribunal correctionnel de Bar-Le-Duc.

L'Andra a souhaité néanmoins disposer d'une analyse technique lui permettant d'alimenter sa compréhension des causes de cet accident et d'en tirer les enseignements utiles à l'adaptation éventuelle des procédures et méthodes

L'expérimentation vise à démontrer la faisabilité d'une transmission sans fil au travers de la roche (Callovo-Oxfordien et bentonite des scellements) afin de transmettre les mesures nécessaires à la surveillance des futurs alvéoles de stockage de Cigéo.

[110] L'expérimentation AHA (acronyme d'Auscultation Alvéoles HA) en autre à Vérifier la faisabilité de mise en œuvre de dispositifs de mesure envisagés pour la surveillance incluant la recette d'ouvrage.

de réalisation des galeries et carrefours. À cet effet, son Directeur général a missionné un groupe d'experts indépendants de niveau international, ayant pour mission d'appuyer l'Andra dans la compréhension de l'accident et l'identification des mesures techniques susceptibles d'être prises. L'analyse menée par ce comité d'experts a permis de cerner une combinaison de facteurs à l'origine de l'accident :

- l'opérateur était placé à proximité du front, pas encore complètement soutenu. Il tournait le dos au front et la boulonneuse entravait la fuite de la victime ;
- une configuration de creusement inédite en L de l'intersection GCR2/GVA2, avec un enchainement des creusements dans deux directions différentes (σ_H et σ_h), générant localement une fracturation complexe au début du creusement de l'intersection GCR2/GVA et un report de charges avec ponctuellement une densité importante de fractures ;
- un soutènement du front par boulons non homogène en densité, associé à l'absence d'une couche de béton projeté pour assurer la stabilité du front durant la mise en œuvre du boulonnage radial, en regard des discontinuités à même de générer des blocs susceptibles de se désolidariser du massif d'argilite ;
- les experts en ont alors déduit des recommandations qui ont été transmises à la maîtrise d'œuvre et au prestataire de creusement. Ces derniers se sont approprié ces recommandations et les ont déclinées dans leur propre process de maîtrise des risques, et ce, avant toute reprise du chantier :
  - ✓ modification des modes opératoires ;
  - ✓ la position des opérateurs et des engins a été revue, en particulier, lors du soutènement du front par boulonnage ;
  - ✓ aucun intervenant ne peut accéder à un front non complètement soutenu ;
  - ✓ mise en place du béton projeté systématique et dans un délai plus rapide ;
  - ✓ boulonnage radial effectué avec un front complètement soutenu ;
  - ✓ mise à jour annuelle du PPSPS et actualisation des fiches de tâches ;
- multiplication des approches de dimensionnement par la maîtrise d'œuvre pour les calculs de stabilité ;
- les enseignements de ce type d'accident ont donc été tirés. Néanmoins, si un tel accident de chantier se produisait lors d'activités similaires dans le centre de stockage Cigéo (qui seront limitées en raison de l'utilisation privilégiée des tunneliers), cela n'aurait aucune conséquence sur les opérations de stockage des déchets radioactifs elles-mêmes. En effet, une des caractéristiques du projet est la gestion dissociée de l'activité de stockage des déchets (exploitation) et celle de creusement des alvéoles (travaux). Ces zones seront séparées physiquement et fonctionneront indépendamment afin d'assurer la sécurité du centre de stockage Cigéo ;
- quant à la roche dans laquelle est située le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (identique à celle sélectionnée pour l'implantation des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo), cette dernière a avant tout été choisie pour ses capacités de confinement des radionucléides. L'accident n'a révélé aucun comportement nouveau, ni anormal de la roche. Sa stabilité mécanique, suite à l'endommagement créé lors de son creusement, est assurée par un système de soutènement installé au fur et à mesure de l'avancement du front de creusement. Ce procédé est utilisé communément pour la réalisation des ouvrages souterrains.

Lors de la construction du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, un accident mortel est survenu en mai 2002. Il était d'une nature différente : il s'est produit lors du creusement du puits principal (travaux en élévation) et non dans une galerie (travaux horizontaux). Un tube de ventilation, dont le dispositif de déploiement était consigné, a été manœuvré alors que son mode était inversé. Cela a eu pour conséquence le détachement du tube, qui est tombé sur un ouvrier qui travaillait sur le sol du puits. L'enquête a mis en cause les relations entre les opérations de creusement et la maintenance (toutes deux sous responsabilité du Groupement Fond Entreprises, dit « GFE », s'agissant d'un contrat de conception-réalisation). Le groupement a été retenu responsable judiciairement parlant et s'est vu condamné. Les autorités ont imposé la mise en place d'un plan de maintenance améliorée et la création d'une fonction (indépendante de la production) de responsable d'état machine.

En outre, pour répondre à la nécessité de sécuriser le chantier et permettre son redémarrage, l'Andra s'est dotée d'une équipe d'experts spécialisés en travaux miniers, originaire d'Afrique du Sud, dont le rôle a été précisément d'analyser, de contrôler et par là-même d'aider le groupement à assurer une meilleure prévention des risques. Là encore, les analyses ont été conduites et les retours d'expérience tirés pour améliorer la sécurité des chantiers sans lien avec les fondamentaux du stockage souterrain.

[111] Collège Interentreprises de Sécurité, de Santé et des Conditions de travail.

Les autres accidents graves

Outre les deux accidents mortels cités ci-dessus, un seul autre accident grave, ayant entraîné un arrêt de travail de plus d'un an, s'est produit dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne en 20 ans.

Cet accident est survenu le 24 mars 2010 lors du creusement de la galerie GET à l'aide d'une machine à attaque ponctuelle (MAP). Un bloc de roche, issu de l'excavation en cours, d'environ $1{,}50 \times 0{,}20 \times 0{,}20$ mètres se positionne en travers du tablier de convoyage de la machine et empêche l'évacuation des déblais. Le pilote arrête l'engin et demande, comme prévu dans les procédures, l'intervention de l'opérateur de surveillance pour casser le bloc. La machine étant à l'arrêt, l'opérateur de surveillance se place devant l'engin et pose le pied sur le tablier du convoyeur afin de dégager le bloc. En parallèle, le pilote accueille au poste de pilotage un salarié en formation. Le pilote présente le pupitre de commande au pilote apprenti. Au cours de l'explication, l'apprenti pilote demande la fonction de l'un des boutons du pupitre en le montrant du doigt et appuie physiquement dessus. Le bouton active le démarrage du convoyeur. Le pied droit de l'opérateur de surveillance se retrouve coincé sur le tablier de convoyage, dans l'étoile gauche. Le pilote déclenche immédiatement l'arrêt d'urgence, néanmoins l'extrémité du pied droit de l'opérateur est gravement touchée.

Suite à cet accident, les modifications apportées ont porté sur deux axes :

- la machine :
  - ✓ mise en place au niveau du poste de conduite d'un système vidéo avec quatre caméras ;
  - ✓ mise en place d'un bouton de validation impliquant, pour le démarrage du convoyeur, d'appuyer simultanément sur ce bouton ainsi que sur le bouton de démarrage existant.

Suite à cet accident, les modifications apportées ont porté sur deux axes :

- la machine :
  - ✓ mise en place au niveau du poste de conduite d'un système vidéo avec quatre caméras ;
  - ✓ mise en place d'un bouton de validation impliquant, pour le démarrage du convoyeur, d'appuyer simultanément sur ce bouton ainsi que sur le bouton de démarrage existant ;
  - ✓ système de liaison opérateur/pilote par balises lumineuses rouge/verte : à chaque arrêt général de la machine, mise au rouge automatique de la balise. Pour repasser au vert, l'opérateur doit reconfirmer son action au boitier de commande ;
- la formation spécifique pour les opérateurs, pilotes, mécaniciens et chefs de poste :
  - ✓ sécurités existantes et dispositifs complémentaires mis en place ;
  - ✓ matériel à utiliser pour casser les blocs de marins.

b) La gestion de l'accidentologie et le processus d'amélioration continu

Sur les neuf années du chantier de creusement n° 3 (2009-2018), ont été enregistrés 31 accidents sans arrêt et 16 accidents avec arrêt pour 2,3 millions d'heures travaillées par 250 entreprises différentes (dont 500 000 h pour Eiffage Génie Civil). Cela correspond à un taux de fréquence de 10. À titre de comparaison, la moyenne nationale du BTP est de 35,5 (référence 2018).

Chaque incident/accident est tracé par une fiche incident/accident. À la suite, un arbre des causes est systématiquement réalisé et découle la déclinaison d'un plan d'actions. Des ingénieurs sécurité sont chargés du bon suivi des plans d'actions. Ces fiches sont présentées à chaque réunion de direction du site (fréquence mensuelle). Une synthèse remonte également dans le tableau de bord de direction de l'agence. Enfin, les accidents et incidents sont présentés à chaque CISSCT[111] (fréquence trimestrielle) pour que l'ensemble des intervenants (entreprises extérieures comprises) bénéficie des analyses et intègre ce retour d'expérience.

Ainsi, l'enregistrement des accidents et des soins bénins permet d'établir une cartographie des risques (cf. Figure 2-31) et d'identifier les sièges principaux de lésions afin de mettre en place des actions de prévention spécifiques (cf. Figure 2-32).

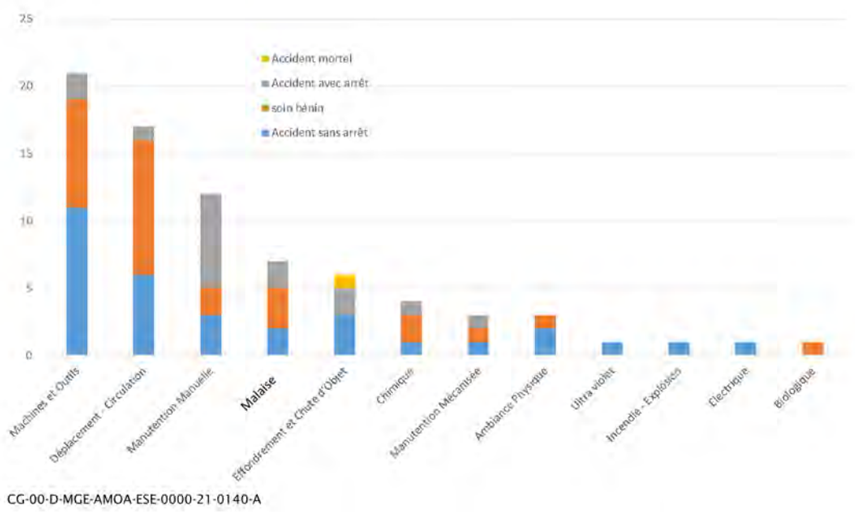


Figure 2-31 *Répartition des accidents et des soins bénins survenus sur le carreau de fonçage et le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne par famille de dangers sur les neuf années du chantier 3*

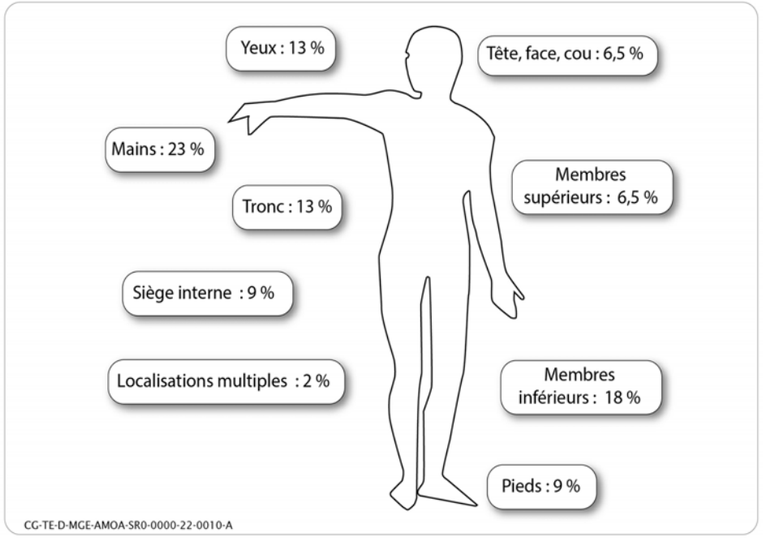


Figure 2-32 *Répartition des accidents et soins bénins survenus sur le carreau de fonçage et le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne par famille de*

2.3.3 Le Parlement et le gouvernement confirment le choix du stockage des déchets HA et MA-VL en couche géologique profonde

TROIS LOIS CONFIRMENT PROGRESSIVEMENT LE STOCKAGE EN COUCHE GÉOLOGIQUE PROFONDE

Avec trois lois déjà proposées et votées sur les 20 dernières années et d'autres rendez-vous d'ores et déjà planifiés, le Parlement et le Gouvernement ont largement confirmé le choix du stockage en couche géologique profonde pour la gestion des déchets HA et MA-VL.

Ce mode de gestion a été largement débattu par le Parlement à l'occasion de ces trois lois votées les 30 décembre 1991 (50), 28 juin 2006 (17) et 25 juillet 2016 (37). Elle a également été débattue par les citoyens, lors du débat public sur la politique de gestion des déchets radioactifs en 2005, lors du débat public sur projet de centre de stockage Cigéo en 2013, et plus récemment, en 2019, lors du débat public sur le plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR).

Le choix du stockage géologique comme mode de gestion de référence pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité et pour les déchets de moyenne activité à vie longue a été réaffirmé à l'occasion de ces divers rendez-vous législatifs.

D'autres rendez-vous législatifs sont d'ores et déjà prévus pour fixer les conditions de la poursuite éventuelle du développement du centre de stockage sur la base de l'expérience acquise lors de la phase industrielle pilote et pour sa fermeture définitive.

2.3.3.1 La loi du 30 décembre 1991 (dite loi Bataille) relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs

Dès 1991, le Parlement se saisit activement de la question de la gestion des déchets radioactifs en fixant notamment les grandes orientations de recherche à mener sur la gestion des déchets HA.

Trois axes de recherche sont privilégiés :

- la réduction de la dangerosité des déchets radioactifs par transmutation (cf. Chapitre 2.2.3 du présent volume) des radionucléides à vie longue présents dans les déchets radioactifs à haute activité vie longue dont les études sont confiées au CEA ;
- l'entreposage de longue durée en surface (cf. Chapitre 2.2.2 du présent volume) dont les études sont également confiées au CEA ;
- les possibilités de stockage profond, réversibles ou irréversibles, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains, dont les études sont confiées à l'Andra.

La loi du 30 décembre 1991 (50) prévoit, qu'à l'issue de 15 ans de recherche, le Gouvernement adresse au Parlement un rapport global d'évaluation de ces recherches accompagné d'un projet de loi autorisant, le cas échéant, « *la création d'un centre de stockage des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue* ».

C'est également cette loi qui institue l'Andra et définit ses missions. Elle crée également la Commission nationale d'évaluation qui rapporte au Parlement et le un comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Cette loi constitue le premier jalon d'un processus qui a d'abord pour objet d'examiner la faisabilité du projet de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs.

2.3.3.2 La loi du 28 juin 2006 sur la gestion des matières et des déchets radioactifs

En 2005, conformément à ce qui était demandé par la loi de 1991 (50), l'Andra a remis au Gouvernement un dossier dans lequel elle conclut à la faisabilité et à la sûreté du stockage profond dans la zone de transposition. Le CEA a lui aussi présenté les conclusions de ses études alternatives au stockage géologique profond (la séparation-transmutation des éléments et l'entreposage de longue durée).

Les ministres en charge de l'environnement et de l'industrie ont décidé d'organiser un débat public sur la politique de gestion des déchets radioactifs qui s'est ouvert à la fin de l'année 2005 (cf. Chapitre 2.6.2 du présent volume). Organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP), ce débat a réuni 3 000 participants lors de 13 réunions publiques pour échanger sur les différentes voies de gestion étudiées. Ce débat public s'est terminé début 2006. Le compte rendu du débat public (82) a fait émerger deux options et un choix éthique : « faire confiance à la société ou à la géologie ? ». La première option retient le stockage géologique comme mode de gestion de référence en tenant compte de l'exigence de réversibilité. La seconde option consiste à mettre en place un « double programme d'essais *in situ* », l'un à Bure pour le stockage géologique, l'autre sur un site, à déterminer, pour l'entreposage de longue durée ; la seconde option renvoie la décision autour de 2020.

La loi du 28 juin 2006 (17) (cf. Figure 2-33) a pour objectif de répondre au rendez-vous fixé par la loi de 1991 (50) et de préciser et d'orienter les prochaines étapes de la politique de gestion des déchets radioactifs. Le débat public de 2005, ses conclusions (82) et les contributions des différents acteurs de la recherche ont alimenté le projet de loi préparé par le Gouvernement. Il y a notamment intégré la demande d'élargir le périmètre de la loi à l'ensemble des matières et des déchets radioactifs, sans se limiter aux seuls déchets de haute activité (HA), comme le fait la loi de 1991 (50).



Figure 2-33 Loi du 28 juin 2006 sur la gestion des matières et des déchets radioactifs (17)

Dans l'exposé des motifs du dossier législatif, le Gouvernement a décidé de retenir le stockage en couche géologique profonde comme mode de gestion de référence en considérant notamment que *« les résultats acquis après 15 années de recherche menée dans le cadre de la loi de 1991 sur le stockage souterrain en couche géologique profonde permettent en effet aujourd'hui de retenir une telle orientation et de lever le moratoire qui avait été mis en œuvre par cette même loi »*.

» DOSSIER LÉGISLATIF DE LA LOI DU 28 JUIN 2006 (14)

Pour la préparation du projet de loi, le gouvernement s'est fondé sur les résultats des recherches réalisées et sur les évaluations indépendantes qui en ont été faites par des experts français et internationaux. Elles ont donné lieu à plusieurs rapports :

- les rapports de synthèse remis le 30 juin 2005 aux ministres en charge de l'industrie et de la recherche par le CEA (83) et l'Andra (80) ;
- les travaux de la Commission nationale d'évaluation (CNE) créée par la loi du 30 décembre 1991, ses onze rapports annuels et son rapport de synthèse publié en janvier 2006 (48) ;
- les évaluations internationales menées au second semestre 2005 sous l'égide de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (84) ;
- l'avis rendu le 1er février 2006 par la direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR)[112] (49) ;
- le rapport établi par les députés Claude Birraux (n° 3003 (85) et n° 3154 (86)) et Christian Bataille et le sénateur Henri Revol (n° 3154), et adopté par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques en mars 2005 en conclusion de l'implication continue de l'Office pendant les quinze années de recherche ;
- la synthèse du débat que la Commission nationale du débat public tenu du 12 septembre 2005 au 13 janvier 2006 relatif à la gestion des déchets radioactifs (82).

À la demande des parlementaires, ce projet a fait l'objet de débats approfondis, notamment lors des discussions en séance publique à l'Assemblée nationale puis au Sénat, qui ont démarré le 6 avril 2006 pour s'achever le 15 juin 2006 avec l'adoption définitive du projet de loi. Les principaux apports des débats parlementaires sont :

- l'introduction de la notion de stockage réversible sur une durée longue (au moins 100 ans) qui est considérée par les parlementaires comme une véritable avancée, notamment vis-à-vis des générations futures auxquelles il faut laisser le choix[113, 114] ;
- la nécessité de poursuivre, selon leur maturité respective, les trois axes de recherche de la loi Bataille de 1991 qui ne doivent pas être considérés comme des solutions alternatives mais comme des axes de recherches complémentaires[115] ;
- le renforcement du contrôle du Parlement dans le processus d'autorisation du stockage avec notamment l'introduction d'une loi ultérieure sur les conditions de réversibilité du stockage et d'une loi pour autoriser la fermeture définitive du stockage ;
- la réaffirmation du principe de responsabilité de notre génération à ne pas laisser le fardeau des déchets radioactifs aux générations futures.

À la faveur de la loi du 28 juin 2006 (17), le Parlement et le Gouvernement confirment le principe du stockage géologique réversible profond comme la référence pour la gestion durable des déchets HA et MA-VL. Cette loi entérine le fait que le stockage profond réversible constitue le seul mode de gestion, à notre portée technique, capable d'assurer la sûreté à long terme des déchets radioactifs HA et MA-VL tout en limitant les charges pesant sur les générations futures. Elle renforce le contrôle par le Parlement du processus d'autorisation du centre de stockage.

---

[112] La DGSNR était en charge de l'autorisation et du contrôle des installations nucléaires de base (INB) civiles et des transports préalablement à la création de l'ASN courant 2006.

[113] « *Choisir la réversibilité, c'est laisser la porte ouverte aux générations futures-celles auxquelles nous faisons référence dans les considérants de la charte désormais constitutionnelle, de l'environnement-et leur permettre de participer à un débat auquel elles ont droit. C'est aussi relever le défi, si important en l'occurrence, de l'humilité* », intervention de Mme Nathalie Kosciusko-Morizet, Assemblée nationale Compte rendu analytique officiel 2e séance du jeudi 6 avril 2006 Présidence de M. Maurice Leroy.

[114] « *Ce qui fait l'originalité de la France c'est l'affichage de la réversibilité, qui faisait encore débat en 1991. Le choix est désormais fait, il impose des obligations quant aux outils dont nous devons être dotés et à la surveillance et au contrôle des installations* », intervention de M. Jean-Claude Lenoir, Assemblée nationale, compte rendu analytique officiel 2ème séance du jeudi 6 avril 2006, Présidence de M. Maurice Leroy.

[115] « *Ces trois axes de recherche sont complémentaires. Il n'y a pas lieu de les opposer. Chacun a son utilité, mais pas au même moment ni pour les mêmes déchets* », intervention de François Loos Sénat : discussion en séance publique 30 mai 2006.

La loi du 28 juin 2006 (17) prévoit par ailleurs que le dépôt de la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde soit précédé d'un débat public. Ce débat public a été mené et ses conclusions ont été traduites dans la loi du 25 juillet 2016 (37).

Par ailleurs, à partir de 2006, une période de consultation et de concertation avec les parties prenantes (cf. Chapitre 2.6 du présent volume) a permis de faire des choix d'implantation (cf. Chapitre 2.4 du présent volume) et des choix techniques et environnementaux de conception (cf. Chapitre 0 du présent volume) pour la création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets HA et MA-VL.

2.3.3.3 La loi du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets HA et MA-VL

Le débat public qui précède le dépôt de la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde s'est déroulé sous l'égide de la CNDP de mai 2013 à janvier 2014 (cf. Chapitre 2.6.2 du présent volume). Il s'est tenu sur la base du dossier de maître d'ouvrage préparé par l'Andra à partir des études d'esquisse industrielle du centre de stockage (cf. Figure 2-34).



Figure 2-34 *Débat public sur le centre de stockage Cigéo : réunion inaugurale à Bure le 23 mai 2013*

À l'issue du débat public, pour tenir compte des avis et attentes exprimés pendant le débat et pour conserver l'approche par étape initiée par la loi de 1991, l'Andra décide, par délibération de son conseil d'administration de poursuivre le projet de centre de stockage Cigéo en y apportant quatre évolutions (87) :

- une phase industrielle pilote (Phipil) au démarrage de l'installation ;
- l'élaboration d'un plan directeur pour l'exploitation (PDE) concerté avec les parties prenantes ;
- la transmission à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) d'un « Dossier d'options de sûreté » (DOS) (69, 79) et un « Dossier d'options techniques de récupérabilité » (88) pour préparer la demande d'autorisation de création du centre de stockage ;
- un engagement plus fort d'implication de la société civile dans la poursuite de la concertation.

La loi du 25 juillet 2016 (37) traduit les conclusions du débat public de 2013 et vient préciser les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets HA et MA-VL. Par ailleurs, ses dispositions relatives à la réversibilité viennent répondre et compléter les dispositions de la loi du 28 juin 2006 (17).

» DOSSIER LÉGISLATIF DE LA LOI DU 25 JUILLET 2016 (12)

Pour la préparation du projet de loi, les sénateurs se sont fondés sur les résultats des recherches et des travaux de conception réalisés par l'Andra et sur les textes et rapports suivants :

- directive 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 (11) qui fixe l'impératif, pour les déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue, de mettre en place *« un stockage dans des installations appropriées qui serviront d'emplacement final » ;*
- bilan de la Commission nationale du débat public sur le débat public organisé en 2013 relatif au projet global Cigéo (89) ;
- rapport n° 594 de M. Michel RAISON (90) (et rapport n° 3894 de M. Christophe BOUILLON (91)) (faits au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable.

Les principales évolutions apportées par la loi du 25 juillet 2016 (37) en matière de conduite du projet de centre de stockage Cigéo sont les suivantes :

- la loi fixe la définition de la réversibilité du stockage en tant que « 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 » ;
- l'exploitation du centre de stockage débute par une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation ;
- la phase industrielle pilote aboutit à une nouvelle loi par laquelle le Parlement décide des conditions de la poursuite éventuelle du développement du centre de stockage ;
- le plan directeur de l'exploitation (PDE) se voit fixer pour objectif de garantir la participation des citoyens. Ce plan est élaboré et mis à jour par l'Andra, tous les cinq ans, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public[116].

Ainsi, la loi du 25 juillet 2016 (37) encadre la mise en œuvre du projet de centre de stockage Cigéo dans des conditions garantissant à la fois la sûreté des installations et la réversibilité des choix, dans une logique de jalonnement et de rendez-vous réguliers. Ces dispositions ont été intégrées au code de l'environnement (article L. 542-10-1).

[116] La première proposition de plan directeur pour l'exploitation (PDE) produite par l'Andra en 2016 (92) décrit le déroulement de référence du centre de stockage Cigéo (inventaire des déchets à stocker, principales étapes de sa construction, principales étapes de son exploitation, objectifs de la phase industrielle pilote, choix offerts par la réversibilité en matière de conduite du projet. Il est mis à jour dans le cadre du présent dossier de demande d'autorisation de création de l'INB du Cigéo.

2.3.4 La poursuite de l'engagement des départements de Meuse et Haute-Marne pour l'accueil d'un stockage en couche géologique profonde

Depuis 1995, date à laquelle ils ont fusionné leur candidature (cf. Chapitre 2.3.1.2 du présent volume), les départements de Meuse et de Haute-Marne ont régulièrement confirmé leur soutien à l'accueil du projet global Cigéo.

En 2009, les populations et élus locaux s'expriment au travers de plusieurs réunions organisées par l'Andra, sur leurs vœux en matière d'aménagement du territoire et d'insertion locale (cf. Figure 2-35), ce qui a contribué à la définition de la zone d'intérêt pour les reconnaissances approfondies (ZIRA) (cf. Chapitre 2.4 du présent volume).



Figure 2-35 Réunion de présentation du point d'avancement du projet d'implantation de stockage géologique aux élus de la Meuse

En 2011, sous l'égide du préfet de la Meuse, est élaboré un schéma interdépartemental de développement du territoire (SIDT) pour préparer le territoire à l'implantation d'un centre de stockage géologique profond de déchets radioactifs.

En 2013, le Comité de haut niveau valide l'implantation interdépartementale de la zone de réception des colis de déchets radioactifs.

En 2013, de nombreux élus locaux se sont exprimés pour réaffirmer leur soutien au projet à l'occasion du débat public sur le centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 2.3.3.3 du présent volume) : G. Longuet, sénateur (cahier d'acteur n° 24) ; Codecom du Val d'Ornois (cahier d'acteur n° 25) ; Conseil général 52 (cahier d'acteur n° 27) ; Conseil général 55 (cahier d'acteur n° 30) ; D. Ruhland, Conseiller général de Montiers-sur-Saulx (cahier d'acteur n° 72) ; H. François, maire de Saudron (cahier d'acteur n° 72) ; B. Pancher, député (cahiers d'acteur n° 74 et n 75) ; Codecom de Marne et Rognon (cahier d'acteur n° 82) ; Codecom de Haute-Saulx (cahier d'acteur n° 91).

Depuis 2016, les élus locaux sont mobilisés pour participer aux différentes concertations organisées l'Andra sur la liaison intersites, le cycle de l'eau (les syndicats des eaux portent le sujet de l'adduction), l'énergie et les transports et notamment le sujet route départementale D60/960, porté par les CD 55 et 52 (cf. Chapitre 2.6 du présent volume). La Codecom Portes de Meuse et la Communauté de Communes du Bassin de Joinville en Champagne (CCBJC) travaillent sur la création de zones d'activités économiques.

Le 4 octobre 2019, le Projet de développement du territoire (PDT, anciennement dénommé SIDT), qui a pour objectif de préparer le territoire à l'arrivée du projet global Cigéo, a été signé, à l'occasion d'un Comité de haut niveau, par la secrétaire d'État auprès de la Ministre de la transition écologique. Ce document a été cosigné notamment par les acteurs locaux : le Président de la région Grand Est, les Présidents des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, les Présidents des quatre communautés de communes et d'agglomérations concernées, les maires des communes de Bure, de Mandres-en-Barrois et de Saudron, les Présidents de groupements d'intérêt public de la Meuse et de la Haute-Marne et par les Présidents des chambres consulaires des deux départements (Chambres de l'agriculture, de commerce et de l'industrie, des métiers et de l'artisanat).

Synthèse

En France, la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (50), dont le rapporteur fut le député Christian Bataille, a fixé les grandes orientations de recherche sur la gestion des déchets HA et MA-VL. Elle prévoyait l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains. Cette loi fut la première loi française relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

Le choix du site de Bure pour l'implantation d'un stockage géologique profond repose sur un processus associant études, évaluations (y compris internationales) et décisions nationales entre 1991 et 2006.

La démarche de localisation d'un laboratoire de recherche souterrain, à créer en vue de la réalisation d'une étude de la faisabilité pour la création d'un centre de stockage creusé en couche géologique profonde au moyen de techniques minières, a été menée par étapes successives, sous le contrôle du Parlement. Elle a systématiquement considéré deux critères, abordés au même niveau d'importance :

- la compatibilité technique du sous-sol avec les exigences d'un stockage géologique et avec les objectifs de protection de l'Homme et de l'environnement contre la dangerosité des déchets. Ce critère de compatibilité technique était évalué à partir des connaissances géologiques préexistantes ;
- l'acceptation du projet par le territoire d'accueil. Seuls les départements ayant répondu à un appel au volontariat pour accueillir un laboratoire de recherche souterrain ont été retenus.

Ces critères et cette démarche par étapes tirait les leçons d'échecs antérieurs à 1991, imputables à la prise en compte du seul critère géologique. Avant 1991, une première phase avait consisté en la réalisation de « *l'inventaire national et la présélection de zones a priori favorables.* ». Elle avait été « *conduite par l'Andra avec l'appui du bureau de recherches géologiques et minières* [BRGM] ». Elle avait « *consisté en une revue de données géologiques disponibles sur le sous-sol français (bibliographies, forages effectués dans le cadre de recherches pétrolières ou minières, etc.) afin de choisir quatre zones dont le sous-sol présente des caractéristiques favorables.* »

Dans le cadre d'une mission de médiation confiée par l'État au député Christian Bataille (64), trois zones, favorables géologiquement et situées dans des départements volontaires (les trois zones s'étendant sur quatre départements), ont été sélectionnées en 1993 :

- une zone argileuse dans le Gard ;
- une zone argileuse s'étendant sur la Haute-Marne et la Meuse ;
- une zone granitique dans la Vienne.

Une deuxième phase consistait alors en « *la sélection d'un site pour l'implantation d'un laboratoire souterrain* ». Il s'agissait alors de reconnaitre les zones présélectionnées « *au moyen d'études géophysiques conduites à partir de la surface (gravimétrie, sismique), de forages superficiels et de forages profonds* ».

Ces trois zones ont alors fait l'objet par l'Andra de reconnaissances géologiques préalables depuis la surface et d'une analyse des données disponibles pour mieux évaluer la compatibilité technique de leur sous-sol. Des

études préliminaires d'avant-projets de laboratoires souterrains ont été engagées en vue de préparer leurs créations éventuelles.

En 1996, l'Andra a déposé des demandes d'autorisation, d'installation et d'exploitation de laboratoires souterrains pour chacune des trois zones sélectionnées en 1993.

En décembre 1998 (70), suite à l'instruction de ces demandes, le Gouvernement acte :

- l'abandon des sites du Gard et de la Vienne pour des raisons techniques ;
- l'implantation d'un laboratoire souterrain sur le site Meuse/Haute-Marne, en vue d'étudier la faisabilité d'un centre de stockage géologique profond réversible dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien, ce site bénéficiant d'un contexte géologique *a priori* très favorable, à l'issu des investigations préliminaires, et d'un fort soutien local ;
- la poursuite des recherches sur le milieu granitique.

En août 1999, l'Andra a obtenu l'autorisation de construire le Laboratoire souterrain dit laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne» à Bure (71). La construction du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a démarré en 2000. En 2004, le creusement des puits du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a atteint la couche argileuse du Callovo-Oxfordien à étudier. Ce laboratoire souterrain de recherche n'a pas l'autorisation et n'est pas conçu pour la réception de déchets radioactifs.

Les travaux menés dans le laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et dans les laboratoires de surface ainsi que les investigations menées depuis la surface par l'Andra confirment ensuite progressivement la faisabilité de la création d'un stockage géologique dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien. En 2006 et en 2016, à l'issue de deux débats publics, le parlement a confirmé politiquement le choix du stockage réversible en couche géologique profonde dans l'argile, lequel devient la solution de référence pour la gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL.

En 2011, après enquête publique, l'autorisation d'exploitation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne est prolongée jusqu'en 2030.

Depuis 1995, date à laquelle ils ont fusionné leur candidature à l'accueil du laboratoire de recherche souterrain, les départements de Meuse et Haute-Marne, et le territoire, ont constamment réaffirmé leur soutien au projet global Cigéo.

2.4 Les choix d'implantation du centre de stockage Cigéo et des autres opérations associées

Les différentes étapes de décision de localisation et d'implantation du centre de stockage Cigéo se sont appuyées sur une comparaison de plusieurs scénarios ou variantes selon des critères sanitaires, environnementaux et d'insertion dans le territoire. Le processus décisionnel a pris en compte la protection de la santé humaine et de l'environnement principalement pour le centre de stockage Cigéo mais aussi plus indirectement pour les autres composantes du projet global. En effet, dans le cadre de la démarche Éviter – Réduire et le cas échéant Compenser, c'est l'implantation du centre de stockage – compte tenu de son ampleur et de ses incidences potentielles – qui offre les possibilités d'évitements les plus significatives, par rapport aux moindres incidences potentielles des autres opérations du projet global. En outre, c'est également l'implantation du centre de stockage qui est la plus contrainte en termes de caractéristiques géologiques du sous-sol. C'est pourquoi la comparaison des solutions alternatives et de substitution pour le centre de stockage est centrale dans la démarche de conception environnementale du projet global. En outre, si le site d'implantation du centre de stockage a été retenu au regard de ses enjeux environnementaux (risques naturels, sites Natura 2000, densité d'occupation et activités humaines…), alors ce site est favorable à l'implantation d'ouvrages de moindres impacts potentiels tels que l'alimentation électrique, l'adduction d'eau… Enfin, le choix d'implantation du centre de stockage préserve des marges de manœuvre très significatives pour les choix d'implantation de l'alimentation électrique, de l'adduction d'eau, mais aussi de la nécessaire déviation de la route départementale D60/960. Le travail de localisation fine de certaines des autres composantes du projet global Cigéo se poursuit en procédant par comparaison de variantes au regard de leurs incidences environnementales sur la base de la meilleure connaissance de l'état initial.

2.4.1 Les choix d'implantation du centre de stockage Cigéo

Le projet de centre de stockage Cigéo est décrit au chapitre 3 du présent volume. Notons que le choix de la localisation du centre de stockage Cigéo est essentiellement lié aux formations géologiques présentes, à leur compatibilité avec les ouvrages souterrains prévus et à la nécessité de protéger la santé de l'homme et de l'environnement (cf. Chapitre 2.3 du présent volume). L'implantation des ouvrages de surface est ensuite justifiée sur la base de leur proximité avec les ouvrages souterrains.

2.4.1.1 La démarche d'étude des variantes d'implantation du centre de stockage Cigéo

La démarche de comparaison des incidences notamment environnementales des variantes d'implantation de l'installation souterraine et des principales installations de surface du centre de stockage Cigéo s'est effectuée par étapes entre 2005 et 2014. Les différentes étapes de décision de localisation du centre de stockage Cigéo se sont appuyées sur une comparaison de plusieurs scénarios ou variantes selon des critères sanitaires, environnementaux et d'insertion dans le territoire.

C'est l'implantation du centre de stockage Cigéo qui est la plus contrainte en termes de caractéristiques géologiques du sous-sol. C'est cette implantation qui, compte tenu de l'ampleur des infrastructures, offre les possibilités d'évitements les plus significatives C'est pourquoi la comparaison des solutions alternatives et de substitution pour le centre de stockage Cigéo est centrale dans la démarche de conception environnementale du projet global Cigéo.

Les études des variantes d'implantation des installations du centre de stockage Cigéo se sont faites sur la base :

- de la mise en place, en 2008, d'une démarche d'information et de consultation des parties intéressées en vue de la localisation des installations, au terme de laquelle l'ensemble des parties intéressées se sont alors prononcées pour privilégier en premier lieu la sûreté et donc la préservation de la santé humaine portée par

les études de sûreté à long terme, et en conséquence donner la priorité aux critères géologiques pour l'implantation de l'installation souterraine ;

- d'une première séquence de consultation, de janvier à avril 2009, des parties intéressées autour des enjeux de la santé humaine, de l'environnement et de l'insertion territoriale, au terme de laquelle l'ensemble des acteurs du territoire ont formulé des critères complémentaires d'insertion territoriale à prendre en compte pour permettre à l'Andra de déterminer la ZIRA (zone d'intérêt pour une recherche approfondie) tout en optimisant les critères géologiques (cf. Chapitre 2.4.1.2.1 du présent volume) :
  - ✓ éviter une implantation de la future ZIRA sous les zones urbanisées des villages ;
  - ✓ privilégier une implantation de la ZIRA sous des zones boisées ;
- d'une seconde séquence de consultation, de mai à octobre 2009, des parties intéressées autour des scénarios d'implantation du centre de stockage Cigéo avec des propositions de ZIRA (cf. Chapitre 2.4.1.2.2 du présent volume) et d'implantation des installations de surface, dont un scénario à Houdelaincourt) au terme de laquelle :
  - ✓ le scénario d'implantation sur la commune d'Houdelaincourt n'a pas été privilégié par les parties intéressées bien que présentant l'avantage d'une plus grande proximité avec le réseau ferroviaire existant du fait :
    - de la proximité de villages et de bourgs urbanisés (plus de 200 habitants [Bonnet] jusqu'à plus de 1 200 habitants à Gondrecourt-le-Château) et de leurs éléments patrimoniaux (église classée à Bonnet) ;
    - de la proximité de la zone Natura 2000 de Saint-Joire et la nécessité de traverser l'espace naturel sensible (ENS) de l'Ormançon pour rejoindre la zone puits par une liaison intersites ;
    - de la topographie de pentes plus fortes susceptible d'une part, de générer des risques pour l'installation nucléaire (forte pluie, stabilité des ouvrages de génie civil…) et d'autre part, compliquant techniquement la réalisation du raccordement ferroviaire avec la ligne ferroviaire 027000 ;
    - de l'éloignement de la ligne 400 kV.

    Ce scénario d'implantation sur la commune d'Houdelaincourt faisait lui-même suite à une analyse de plusieurs sites, analyse qui avait écarté les zones situées en bordure immédiate du tracé de la ligne ferroviaire 027000, longeant la route départementale D966, car elles constituent un fond de vallée inondable, à enjeu fort de biodiversité et incompatible avec la sûreté nucléaire, ou des zones boisées trop étroites ;
  - ✓ la commission « Localisation » du comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a réitéré le souhait de privilégier la préservation de l'Homme et l'environnement pour la localisation de la ZIRA en laissant ouvertes les possibilités de la localisation des installations de surface, avec notamment des avis partagés entre une implantation en forêt ou en terre agricole ;
  - ✓ tout en rejoignant le Clis sur l'importance de privilégier l'Homme et l'environnement, d'autres parties intéressées ont exprimé une demande forte d'aménagement du territoire portant sur l'implantation de l'entrée de la descenderie des colis de déchets dans une zone limitrophe Meuse/Haute-Marne. Ainsi les présidents des Conseils généraux de Meuse et de Haute-Marne ont recommandé en mai 2009 d'implanter « l'entrée principale du futur stockage » dans le périmètre de la zone interdépartementale sur le secteur Bure-Saudron, insistant sur leur volonté commune de poursuivre la coopération des deux collectivités départementales. D'autres parties intéressées ont manifesté un souhait analogue pour l'implantation de l'entrée des descenderies, dont la Chambre de commerce et d'industrie de la Meuse, soucieuse de concilier au mieux le caractère interdépartemental du projet, la Communauté de communes du canton de Poissons (Haute-Marne) et celle de la Haute-Saulx (Meuse).

Pour mémoire, l'ensemble de la consultation est restitué dans le document public : « Stockage réversible profond – Proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface » (68).

Fin 2009, l'Andra fait une proposition de ZIRA (cf. Chapitre 2.4.1.2.2 du présent volume). En tirant les enseignements de cette démarche d'information et de consultation lancée en 2008, l'Andra a proposé au Gouvernement un tracé de la ZIRA majoritairement implanté sous des zones boisées, évitant les zones à enjeux environnementaux identifiés, notamment l'aplomb des zones urbanisées des villages, et compatible avec une implantation potentielle de l'entrée de la descenderie dans la zone limitrophe Meuse/Haute-Marne.

Après évaluation par la Commission nationale d'évaluation (CNE), instruction technique par l'ASN, consultation des élus et du Clis, la ZIRA proposée par l'Andra a été validée par le Gouvernement en mars 2010. Dans son courrier du 9 mars 2010 au Président de l'Andra (93), le ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des technologies verte et des négociations sur le climat a demandé à l'Andra de veiller « *à étudier l'implantation de l'entrée de la descenderie pour le stockage dans la zone limitrophe de Meuse/Haute-Marne, conformément au relevé de conclusions de la réunion du Comité de Haut Niveau du 18 novembre 2009* ».

Entre 2011 et 2012, les échanges avec les parties intéressées (acteurs du territoire, en particulier le Clis) se sont poursuivis ; ils ont porté sur la localisation des installations de surface du centre de stockage (cf. Chapitre 2.4.1.3 du présent volume).

Pour l'implantation des zones de surface, il s'agissait tout d'abord de prendre en compte des données d'entrée techniques fondamentales :

- l'implantation des puits par rapport aux ouvrages souterrains pour faciliter la ventilation de l'installation et pour y transférer (ou évacuer) des Hommes et des matériels par le chemin le plus court, notamment en situation d'urgence ;
- le regroupement des bases des puits et des descenderies au sein d'une même zone dans l'installation souterraine pour favoriser la limitation des circulations d'eau au sein du stockage après sa fermeture définitive et à long terme ;
- une descenderie privilégiée pour le transfert des colis de déchets radioactifs de la surface vers le stockage (cf. Chapitre 2.4.1.3.3 du présent volume) et donc des émergences de descenderies en surface nécessairement éloignées des puits précédemment évoqués (pente de 12 % sur environ 5 km).

Dès lors, tous les ouvrages de surface ne peuvent pas figurer dans une seule zone, à moins que celle-ci ne soit très étendue, ce qui en augmenterait l'impact global de l'installation. Il convient d'avoir *a minima* une zone articulée autour des émergences des descenderies et une zone articulée autour des émergences des puits (avec, à proximité, une zone de stockage des verses pour permettre la fermeture des installations dès que décidée).

À partir de ces constats, l'Andra a, en 2009, mené une concertation avec les parties prenantes locales pour évaluer la pertinence de plusieurs zones potentielles d'implantation des installations de surface (ZIIS – cf. Chapitre 2.4.1.3.2). Il est ressorti de ces échanges plusieurs demandes du territoire :

- 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).

L'Andra a donc étudié trois scénarios possibles d'implantation de la zone puits à l'aplomb de la ZIRA (cf. Chapitre 2.4.1.3.2 du présent volume, et plus particulièrement la figure 2-46) : dans la forêt de Montiers-sur-Saulx (scénario n° 1) ou dans la partie centrale de la ZIRA (forêt de la vallée de l'Ormançon, scénarios n° 2 et 3).

Les trois scénarios ont pour point commun d'être situés dans des massifs forestiers afin concomitamment de faciliter l'intégration paysagère des bâtiments et d'équilibrer les consommations foncières entre les secteurs agricoles et forestiers (la zone descenderie étant implantée dans un secteur agricole). Les scénarios ont aussi intégré des propositions pour l'implantation des verses, également en milieu forestier, afin de limiter leur impact paysager et les distances de transport des matériaux.

Les études ont confirmé l'intérêt d'éviter d'excentrer les puits par rapport à la ZIRA considérant notamment que les excentrer impose d'allonger les galeries souterraines et/ou les descenderies et d'augmenter le volume à excaver et corollairement l'impact environnemental des creusements (volume des verses etc.), sans apporter en contrepartie un bénéfice substantiel pour la santé humaine à long terme. Cela a notamment conduit l'Andra à proposer de ne pas étudier plus avant le scénario n° 1, lequel présentait par ailleurs des enjeux écologiques (présence d'espèces protégées d'oiseaux).

Le Comité de haut niveau a validé, le 4 février 2013 (94), l'implantation proposée par l'Andra pour la zone descenderie et les deux options à approfondir pour l'implantation de la zone puits : scénario n° 2 et scénario n° 3 (cf. Figure 2-46 du chapitre 2.4.1.3.2 du présent volume).

Entre mai et octobre 2013 a eu lieu le débat public sur le projet de création du centre de stockage Cigéo. Les scénarios d'implantation n'ont pas soulevé de discussion particulière lors de ce débat public. En revanche une forte demande pour une desserte ferroviaire a été exprimée.

L'Andra a finalement décidé en 2014 d'opter pour le bois Lejuc (scénario n° 2). Ainsi, le choix du bois Lejuc pour l'implantation de la zone puits repose-t-il sur les considérations suivantes :

- l'implantation des puits par rapport à la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA), qui ne doivent pas être (trop) éloignés des zones de stockage de colis de déchets radioactifs ;
- le choix-même des descenderies, qui limitaient d'office les solutions d'implantation de la zone puits (la zone puits devant être située dans un certain rayon autour de la zone descenderie, rayon déterminé par la longueur des descenderies) ;
- la recherche d'un équilibre entre les consommations de terrains agricoles et de terrains forestiers, demande qui résulte de la concertation avec le territoire ;
- la demande du territoire de veiller à l'intégration paysagère des bâtiments et des verses ;
- la recherche, au regard des considérations précédemment évoquées, de la solution présentant le moins d'impact sur l'environnement parmi les 3 scénarios d'implantation de la zone puits en milieu forestier.

2.4.1.2 Le choix d'implantation des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo

2.4.1.2.1 Les objectifs et critères fondamentaux pour l'implantation des ouvrages souterrains

Les travaux menés dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et depuis la surface ont conclu en 2005 à la faisabilité d'un stockage géologique dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien (cf. Chapitres 2.3.2.1 du présent volume).

Les travaux de reconnaissance menés depuis la surface ont également permis d'identifier une zone de 250 kilomètres carrés environ, située autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, dans laquelle les résultats obtenus dans ce dernier pouvaient être transposés. Cette zone a été dénommée « zone de transposition » (ZT).

Afin d'avancer dans ses études, l'Andra s'est alors mise à la recherche, au sein de cette ZT, d'une zone plus restreinte de la couche de Callovo-Oxfordien, propice à l'implantation d'un stockage, dans laquelle des techniques d'exploration approfondies pourraient être utilisées pour acquérir des informations encore plus précises sur les caractéristiques du site.

La protection de l'Homme et de l'environnement vis-à-vis des substances dangereuses contenues dans les déchets est l'enjeu déterminant qui a guidé l'Andra pour identifier la zone restreinte susceptible d'accueillir les ouvrages souterrains d'un éventuel stockage. En conséquence, les critères définis pour cette recherche visaient à privilégier, d'une part la bonne implantation de ces infrastructures dans la couche d'argile, d'autre part l'aptitude locale de la couche à répondre aux exigences de protection, en particulier à long terme.

Les critères prépondérants à cette étape étaient donc de nature géologique. Ils concernaient notamment (cf. Figure 2-36) :

- l'épaisseur de la couche (dite épaisseur de COX), qui est favorable au confinement à très long terme des substances dangereuses contenues dans les colis de déchets car elle augmente leur temps de migration vers l'environnement ;
- sa profondeur, qui permet d'éloigner les déchets de la biosphère, d'isoler le stockage et de le protéger des phénomènes de surface naturels et humains (tempêtes, inondations, érosion, glaciations, sécheresses, chantiers, agressions...) ;
- son éloignement des grandes failles (notamment la faille de Gondrecourt-le-Château) qui garantit la stabilité à long terme de la couche et réduit les temps de transfert des substances dangereuses vers l'environnement ;
- sa faible inclinaison (pendage) qui simplifie la conception d'un stockage plan, sur un seul niveau, positionné dans la partie centrale de la couche. Une bonne épaisseur de garde peut ainsi être respectée, au-dessus et en-dessous des ouvrages de stockage, pour favoriser le confinement ;
- son faible gradient de charge hydraulique, de manière à limiter au maximum la circulation d'eau dans les ouvrages, ainsi que la stabilité dans le temps de ce dernier.

En parallèle de la définition de ces critères techniques, l'Andra a engagé des premiers échanges pour identifier les critères environnementaux et économiques liés à l'aménagement du territoire et à l'insertion locale du projet. L'objectif était de vérifier que le choix d'une zone souterraine restreinte pouvait être associé à des implantations des installations de surface respectueuses de l'environnement et des orientations formulées par les acteurs locaux.

Pour préparer ces échanges, l'Andra a transmis en 2008 une proposition de démarche d'information et de consultation à la Commission nationale d'évaluation (CNE), à la Commission nationale du débat public (CNDP), au Haut-comité à la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), aux Préfets, au Comité local d'information et de suivi du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et aux Présidents des Conseils généraux. Cette démarche a également fait l'objet d'échanges avec l'Office parlementaire des choix scientifiques et techniques (OPECST), le Conseil économique, social et environnemental (CESE) et des parlementaires et élus locaux. L'Andra a appliqué les recommandations faites en retour. Un comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation (COESDIC) a été créé sous l'égide du conseil scientifique de l'Agence.

Lors des échanges entrepris avec les acteurs locaux pour rechercher une zone plus restreinte de la couche du Callovo-Oxfordien pour y implanter un stockage, ceux-ci ont privilégié :

- d'éviter une implantation du stockage sous les zones urbanisées des villages ;
- de favoriser une implantation sous les forêts ;
- de privilégier une desserte par voie ferroviaire du centre de stockage.

Ces premières réflexions ont fait l'objet d'échanges avec le Clis en 2008 et 2009. Elles ont notamment été présentées à l'assemblée générale du Clis le 29 juin 2009 (95). Les discussions ont mis en évidence que la volonté d'éviter les zones urbanisées n'était pas motivée par des questions de sûreté, mais revêtait un caractère subjectif ; un critère d'éloignement fixé de façon conventionnelle à 500 mètres a donc été partagé et retenu par l'Andra. L'implantation sous les forêts a également fait l'objet de discussions, sans qu'un avis totalement unanime puisse être obtenu malgré les demandes formulées par des élus. La communauté de communes de Poissons en particulier avait formulé une demande de privilégier l'implantation sous la forêt de Montiers-sur-Saulx, forêt domaniale propriété de l'État (68). En tout état de cause, compte tenu des spécificités du territoire sur la zone de transposition, l'emprise nécessaire pour l'implantation d'un stockage (zone continue d'environ 30 km^2) est située nécessairement pour parties à la fois sous des zones agricoles et sous des massifs boisés.

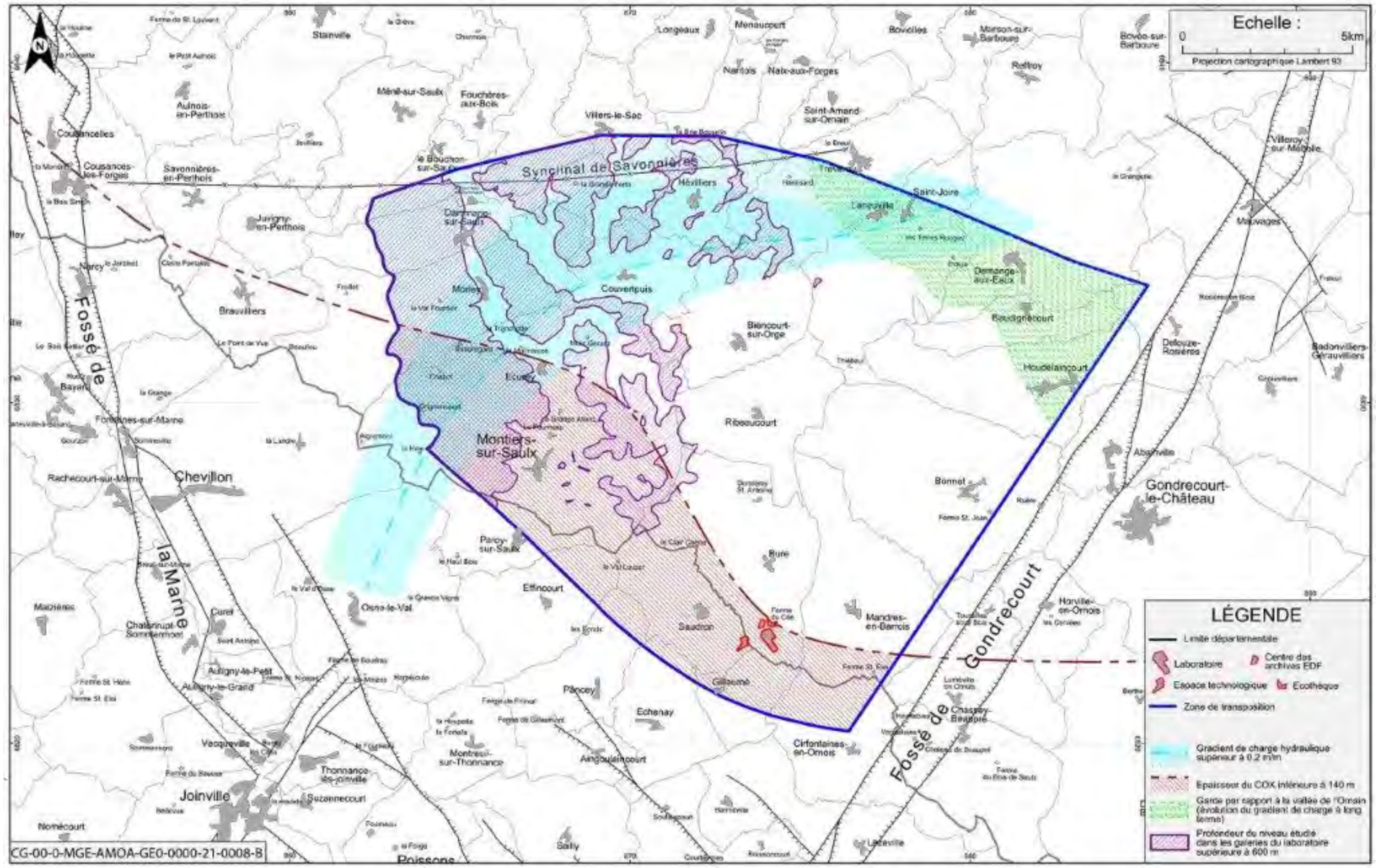


Figure 2-36 Critères géologiques dans la zone de transposition

2.4.1.2.2 Le choix de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA)

Suite à ces premiers échanges, l'Andra a proposé 4 scénarios (cf. Figure 2-37) pour la définition d'une zone restreinte, dite d'intérêt pour la recherche approfondies (ZIRA 1, ZIRA 2, ZIRA 3 et ZIRA 4) et les a soumis au dialogue avec les acteurs locaux.

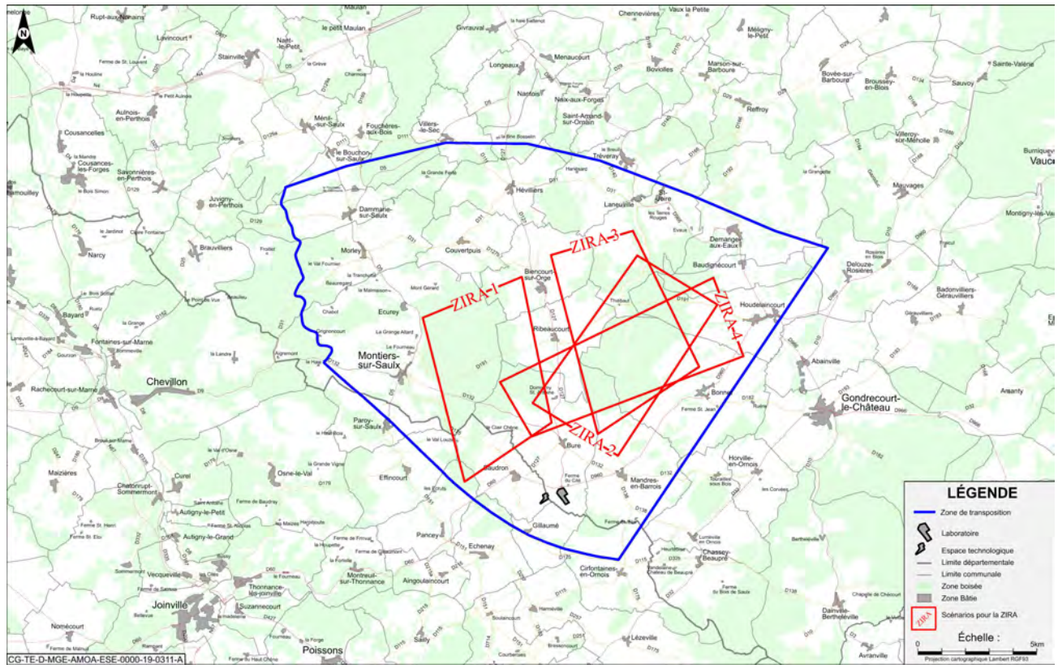


Figure 2-37 Proposition de zones souterraines d'intérêt pour une reconnaissance approfondie (2009)

Les principaux points de consensus technique exprimés par les acteurs locaux pour le choix de cette zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) ont confirmé le caractère déterminant de la géologie et de l'enjeu de protection de l'Homme et de l'environnement. Par ailleurs, les acteurs locaux ont exprimé des demandes fortes en termes d'aménagement du territoire. L'emplacement de la ZIRA, associé aux zones d'implantation des installations de surface (cf. Chapitre 2.4.1.3.2 du présent volume), devait favoriser le développement économique et social et réduire les nuisances pour les populations. Enfin, ils ont souhaité que le choix de la ZIRA permette d'implanter l'entrée d'une descenderie « colis » dans une zone limitrophe de la Meuse et de la Haute-Marne (cf. Chapitre 2.4.1.3.2 du présent volume).

En parallèle à ces échanges, l'Andra a soumis les quatre zones à une analyse technique multicritères liés à la construction et à la protection de l'Homme et de l'environnement. Sur la base de ces critères, le scénario d'implantation dans la position ZIRA 1 a été écarté car jugé trop proche des limites vis-à-vis de certains critères géologiques. Sa profondeur moyenne, en bonne partie supérieure à 600 mètres, aurait notamment compliqué les opérations de creusement des alvéoles de stockage. Cette difficulté technique aurait pu être surmontée, mais elle aurait entraîné une majoration des délais, des coûts et des consommations de matériaux.

Au vu des retours des acteurs locaux et de sa propre analyse technique approfondie, l'Andra a formulé fin 2009 une proposition affinée de ZIRA, optimisée au regard des critères de protection de l'Homme et de l'environnement. Cette ZIRA (cf. Figure 2-38) inclut pour partie les ZIRA 2, 3 et 4 dans son périmètre. Située à quelques kilomètres du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, l'épaisseur de la couche de Callovo-Oxfordien y est supérieure ou égale à 140 mètres. Cette épaisseur est plus importante que l'épaisseur considérée comme nécessaire pour l'implantation du stockage (120 mètres) et son pendage est faible (de l'ordre de 2 %). Elle présente un très faible gradient hydraulique. Son emprise, de l'ordre de 30 km² permet d'y implanter les infrastructures souterraines d'un stockage à une profondeur approximative de 525 mètres au centre de la ZIRA. De plus, elle est compatible avec l'ensemble des enjeux d'aménagement du territoire et d'insertion locale définis par les acteurs locaux. Sa définition respecte donc aussi bien les critères géologiques fondamentaux qui garantissent la protection de l'Homme et de l'environnement que les volontés exprimées par le territoire. À cet égard, sa forme présente un décroché au sud-ouest qui permet, tel que convenu avec le territoire, d'éviter une implantation des infrastructures souterraines du stockage sous la commune de Bure.

Le comité local d'information et de suivi a informé le public sur la démarche de choix de la ZIRA. La carte a été présentée dans la presse locale en juin 2009 (Est républicain, Journal de la Haute-Marne) (96).

L'Andra a publié en 2009 un document intitulé « Proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface » (68) qui fait la synthèse de la démarche suivie et présente l'ensemble des points de vue et demandes exprimées par les acteurs à cette étape.

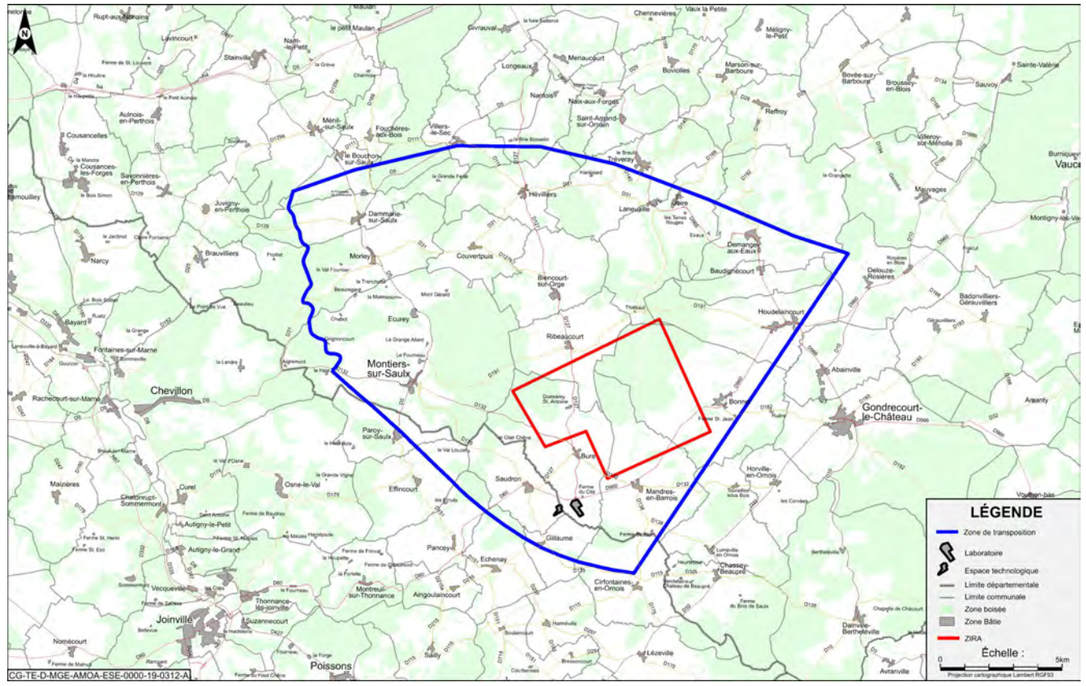


Figure 2-38 ZIRA : zone souterraine d'intérêt pour une reconnaissance approfondie

Après évaluation par la CNE, instruction technique de l'ASN (97) et consultation des élus et du Comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne Clis, la ZIRA proposée par l'Andra a été validée par le Gouvernement en mars 2010 (93).

En 2010 l'Andra a alors conduit, sur l'emprise de cette ZIRA, une campagne de reconnaissance géologique approfondie utilisant la technique de l'investigation sismique en trois dimensions (3D). Elle a permis d'obtenir une image géologique 3D précise des formations géologiques au sein de la zone. Elle a confirmé que la formation du Callovo-Oxfordien est régulière (absence de zone affaissée et de failles), présente une épaisseur importante comprise entre 140 et 160 mètres (du sud-ouest vers le nord-est) et un faible pendage (d'environ 1 degré à 1,5 degrés globalement vers le nord-ouest). L'incertitude résiduelle sur l'épaisseur du Callovo-Oxfordien est estimée de l'ordre d'une dizaine de mètres au maximum. Les résultats ont confirmé que la couche argileuse du Callovo-Oxfordien située dans cette zone présente toutes les caractéristiques favorables à l'implantation d'un stockage profond. La conception de l'architecture souterraine du centre de stockage Cigéo, en particulier son implantation 3D au sein du Callovo-Oxfordien, prend en compte l'ensemble des données précitées dont son pendage. Elle vise en premier lieu à garantir qu'il y ait au moins 50 mètres d'épaisseur du Callovo-Oxfordien au-dessus et en-dessous des ouvrages. La conception vise ensuite à garantir les écoulements gravitaires des fluides transportés par les réseaux et la circulation des chariots de transfert des colis. L'architecture du centre de stockage Cigéo est donc adaptée aux caractéristiques géométriques du Callovo-Oxfordien (incertitudes incluses).

LA CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE COMPLEMENTAIRE SUR LA ZIRA

Les investigations géologiques complémentaires menées en 2010-2011 ont eu pour objectif d'ausculter plus précisément la « zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie » (ZIRA) proposée par l'Andra pour accueillir le centre de stockage des déchets HA et MA-VL.

Elle a permis notamment de détailler la géométrie de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, de contrôler la constance de ses propriétés et de vérifier l'absence de failles mineures. Elle a également permis de compléter les connaissances sur les roches situées au-dessus et en dessous de la couche d'argile.

Pour cela, les géologues ont généré une image du sous-sol en trois dimensions en utilisant le principe de l'écho (voir figure ci-contre) : une onde sismique envoyée dans le sol depuis la surface par un camion vibrant « rebondit » sur les différentes couches de roche, puis revient vers la surface où elle est enregistrée par des capteurs appelés géophones. En analysant les enregistrements des capteurs, les géologues en déduisent notamment la profondeur et l'épaisseur des différentes roches qui ont réfléchi les ondes.

Sur la ZIRA, des capteurs en nombre très important ont été disposés dans un maillage serré (1 440 récepteurs) sur une surface d'environ 3 km² (3 x 1 km). Ils ont permis d'enregistrer simultanément les signaux réfléchis par les roches. Positionnés en lignes, ils ont été peu à peu déplacés pour couvrir progressivement l'ensemble de la zone. En complément, une vingtaine de petits forages ont été réalisés et équipés de dispositifs de mesures pour analyser les variations des vitesses des ondes sismiques.

Terminée en 2011, la campagne de mesure de terrain a ensuite donné lieu à une analyse complète de ses résultats. Les signaux enregistrés ont été traités pour construire une modélisation complète en trois dimensions du sous-sol de la ZIRA.

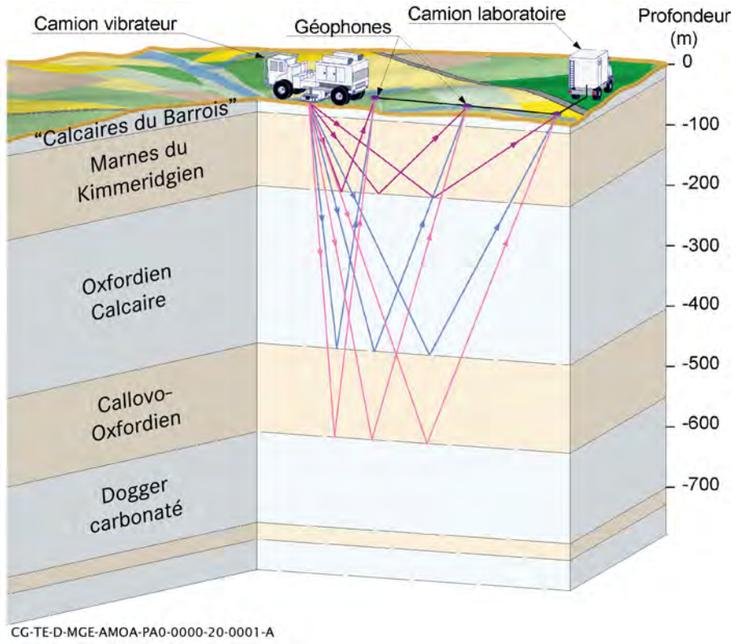


Figure 2-39 *Principe physique des mesures sismiques*



Figure 2-40 *Camion vibrateur utilisé lors de la campagne de mesure sur la ZIRA*

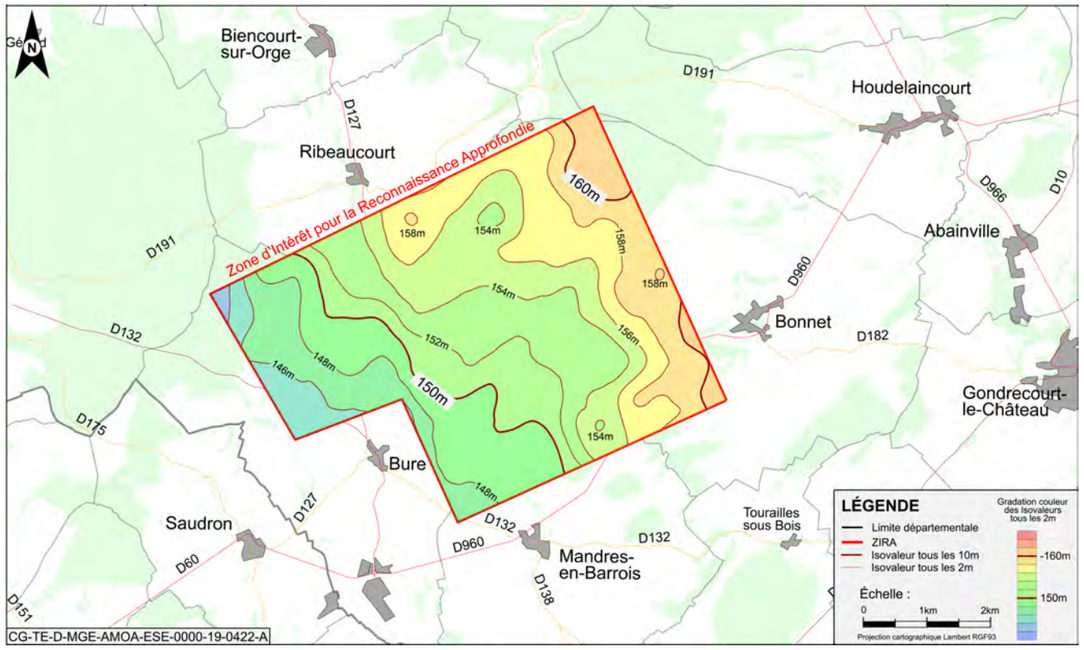


Figure 2-41 *Modélisation de l'épaisseur du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (en m) issue de la campagne de reconnaissance géologique approfondie*

2.4.1.2.3 Le choix de la zone d'implantation des ouvrages souterrains de Cigéo (ZIOS)

À partir de 2011, l'Andra a lancé les études de la conception industrielle du centre de stockage Cigéo (études d'avant-projet). Une partie de ces études vise à implanter les ouvrages de stockage de façon optimale au sein de la couche de Callovo-Oxfordien de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA).

Pour ces travaux, l'Andra dispose d'une base très riche de connaissance des paramètres géologiques reposant sur l'ensemble des études menées depuis les années 1990, des investigations spécifiques effectuées depuis la surface et des expérimentations menées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Compte tenu de la diversité des caractérisations géologiques menées (sédimentologie, structure, tectonique, géochimie, géomécanique, thermique, transport de soluté) et des moyens mis en œuvre pour ces caractérisations (prospection géophysique, forages, expérimentations au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, analyses *in situ* et en laboratoires de surface), la zone de transposition (d'environ 250 km²), et la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) qui y est incluse (d'environ 30 km²), font partie des sites géologiques les mieux connus du territoire français et l'excellence des travaux menés a été reconnue par les évaluateurs de l'Andra[117] (courrier du 8 mars 2010).

Les études de conception industrielle du centre de stockage Cigéo ont précisé progressivement l'architecture de l'installation souterraine. Ce projet a fait l'objet d'un débat public en 2013 (cf. Chapitre 2.3.3.3 du présent volume), à l'issue duquel l'Andra a décidé de poursuivre ses études en y introduisant les modifications demandées, notamment relatives à son déroulement et à l'introduction d'une phase industrielle pilote.

En 2016, l'Andra a présenté ses études à un stade intermédiaire dans un ensemble de livrables comprenant notamment le « Dossier d'options de sûreté » (69, 79) et le « Dossier d'options techniques de récupérabilité » (88), ainsi qu'une première version de son Plan directeur pour l'exploitation (PDE) (92). Ces livrables ont fait l'objet d'une revue internationale (100), d'une instruction technique de l'ASN (67) et d'une évaluation par la CNE (101).

Les études menées depuis 2011 et chacune des étapes d'échanges et d'instruction du projet ont confirmé l'adéquation de la couche argileuse de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) à l'accueil d'un stockage de déchets HA et MA-VL. Dans son avis n° 2018-AV-0300 du 11 janvier 2018 (67), l'ASN a indiqué que l'Andra avait acquis « *une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne, qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage* ». L'Andra a donc décidé d'intégrer l'ensemble de la couche argileuse située sous la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) au centre de stockage Cigéo.

La « zone d'implantation des ouvrages souterrains » (ZIOS) du centre de stockage Cigéo recouvre l'ensemble des infrastructures souterraines. Elle résulte de l'addition (cf. Figure 2-42 et figure 2-43) :

- du bloc de Callovo-Oxfordien défini par la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) ;
- de blocs cylindriques des formations géologiques supérieures dans lesquelles sont implantés les descenderies et les puits.

L'Andra a prévu pendant les travaux de construction des ouvrages souterrains de la zone d'implantation des ouvrages souterrains de mener un ensemble de mesures et de vérifications qui permettront de contrôler que les propriétés de la roche prises en compte pour la conception des ouvrages et pour la démonstration de sûreté sont bien celles rencontrées « *in situ* » dans l'environnement réel du futur stockage. Pour garantir la protection de l'Homme et de l'environnement, l'ensemble de ces propriétés devra avoir été confirmé avant l'autorisation de mise en service de l'INB Cigéo et le stockage des premiers colis.

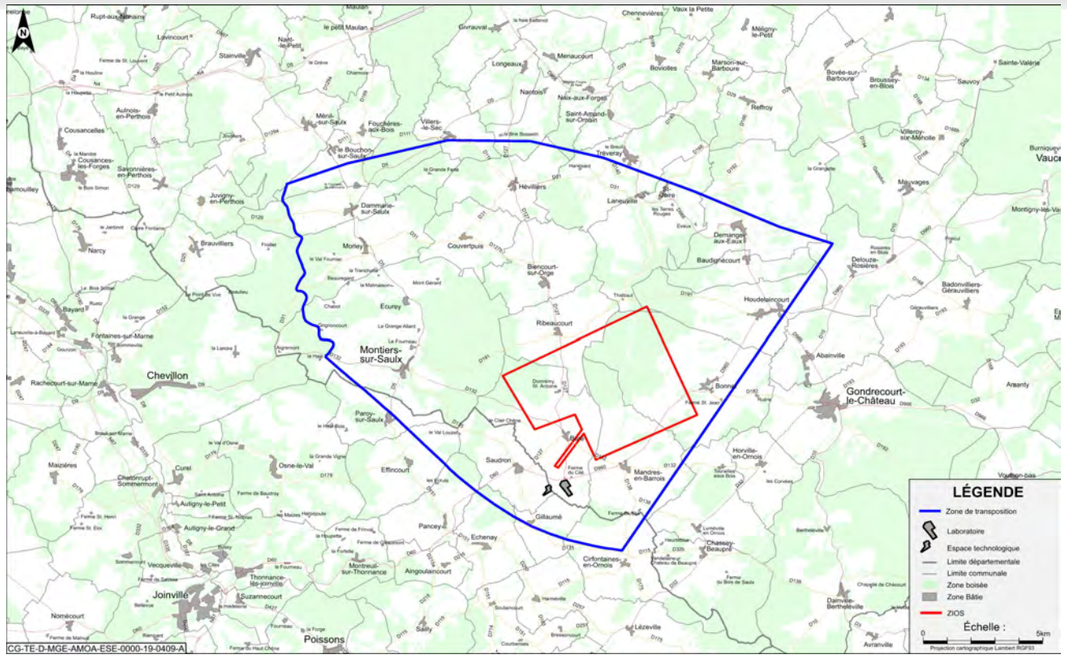


Figure 2-42 Zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) – vue de dessus

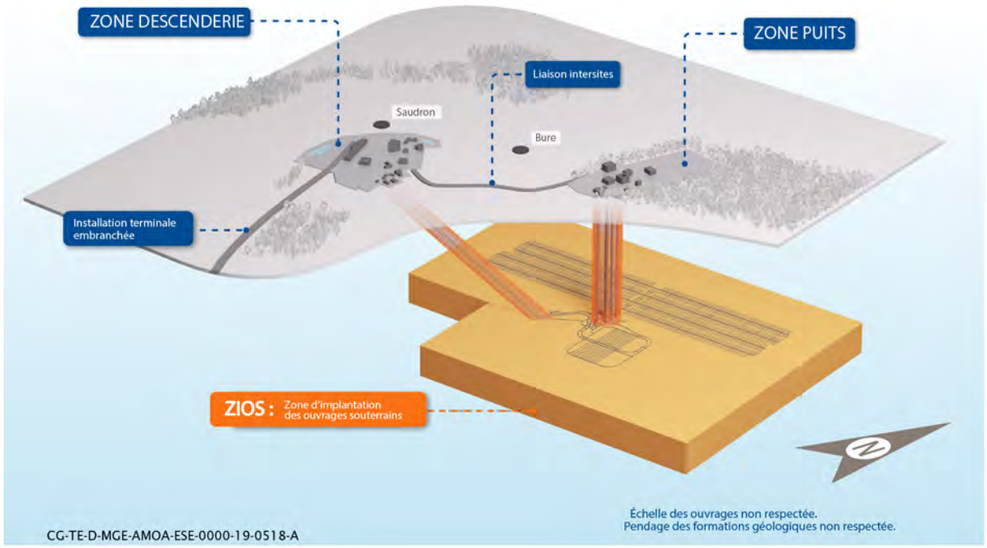


Figure 2-43 Zone d'implantation des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo (en orange)

[117] « *L'Andra a acquis une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne* » (ASN) Autorité de sûreté nucléaire, lettre CODEP-DRC-2018-001635 (98), « [Les moyens mis en œuvre par l'Andra] *constituent un ensemble remarquable, tant en qualité qu'en quantité, pour tout ce qui concerne les investigations menées depuis la surface. En particulier, les forages dirigés, les diagraphies et les tests de pression ont fourni plusieurs milliers de mesures et d'échantillons qui ont été étudiés de manière approfondie* » (CNE) (48)). *La commission reconnaît l'excellente qualité du dossier scientifique établi par l'Andra…* » (CNE) – Rapport d'évaluation n° 4 de juin 2010 (99).

Synthèse des critères ayant prévalu pour le choix de la zone d'implantation des ouvrages souterrains

Les travaux menés dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et depuis la surface ont conclu en 2005 à la faisabilité d'un stockage géologique dans le Callovo-Oxfordien. Les travaux de reconnaissance menés depuis la surface ont également permis d'identifier une zone de 250 kilomètres carrés environ, située autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, dans laquelle les résultats obtenus dans ce dernier pouvaient être transposés. Cette zone a été dénommée « zone de transposition » (ZT).

Afin d'affiner ses connaissances et d'avancer dans ses études, l'Andra a recherché, au sein de cette zone de transposition, une zone restreinte de la couche de Callovo-Oxfordien propice à l'implantation d'un stockage, zone dans laquelle des techniques d'exploration complémentaires pourraient être utilisées pour acquérir des informations plus précises sur les caractéristiques du site. Cette zone restreinte a été dénommée « zone d'intérêt pour la recherche approfondie » (ZIRA).

Pour identifier cette zone, l'Andra a défini des critères géologiques prépondérants qui visent à protéger l'Homme et l'environnement, en particulier à long terme, vis-à-vis des substances dangereuses contenues dans les déchets :

- l'épaisseur de la couche argileuse qui est favorable au confinement à long terme des substances dangereuses, car elle augmente leur temps de migration éventuelle vers la biosphère ;
- sa profondeur qui permet de protéger les Hommes et l'environnement en éloignant les déchets de la biosphère tout en les mettant les déchets à l'abri des agressions potentielles liées aux phénomènes naturels de surface et aux activités humaines ;
- son éloignement des grandes failles géologiques qui garantit la stabilité à long terme du stockage et réduit les temps de transfert des substances dangereuses vers la biosphère ;
- sa faible inclinaison (pendage) qui simplifie la conception du stockage.

Pour que l'implantation des ouvrages souterrains du stockage, puisse être associée à des installations de surface respectueuses de l'environnement des attentes des acteurs locaux, l'Andra a défini, après échanges avec les parties prenantes et le territoire, des critères complémentaires d'ordres environnementaux et économiques liés à l'aménagement du territoire et à l'insertion locale du projet :

- éviter l'implantation du stockage sous les zones urbanisées des villages ;
- favoriser une implantation sous les forêts pour préserver les terres agricoles ;
- permettre une desserte par voie ferroviaire des installations de surface du centre de stockage pour réduire les nuisances liées aux transports routiers.

L'Andra a alors proposé quatre scénarios de positionnement de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) et les a soumis au dialogue avec les acteurs locaux et à une analyse comparative sur la base de critères techniques et environnementaux.

Au vu des retours des acteurs locaux concernant le développement du territoire et de sa propre analyse technique approfondie, l'Andra a formulé fin 2009 une proposition affinée de zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) qui permet de répondre aux critères techniques et environnementaux (68). Elle permet notamment de lui associer une zone de surface pour l'accueil des colis de déchets dans une zone limitrophe de la Meuse et de la Haute-Marne.

Après évaluation par la commission nationale d'évaluation, instruction technique de l'Autorité de sûreté nucléaire et consultation des élus et du Comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne Clis, la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) proposée par l'Andra a été validée par le gouvernement en mars 2010 (93).

Les investigations géologiques complémentaires menées par l'Andra en 2010-2011 sur l'emprise de cette zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA), notamment par investigations sismiques en trois dimensions (3D), ont confirmé la qualité de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien située dans cette zone. Sa géométrie a été précisée, la constance de ses propriétés contrôlée et l'absence de failles mineures confirmée. Les connaissances des roches situées au-dessus et en dessous de la couche argileuse ont été approfondies. Compte tenu du nombre et de la variété des études menées, le sous-sol de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) fait partie des sites géologiques les mieux connus du territoire français.

À partir de 2011, l'Andra a lancé les études de la conception industrielle du centre de stockage Cigéo (études d'avant-projet). Ces études visent notamment à implanter les ouvrages de stockage de façon optimale au sein de la couche de Callovo-Oxfordien située sous la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA). Ces études de conception industrielle du centre de stockage Cigéo ont précisé progressivement l'architecture de l'installation souterraine, confirmant la possibilité d'inscrire les ouvrages de stockage des déchets HA et MA-VL dans ce volume de roche.

Le projet de centre de stockage Cigéo a fait l'objet d'un débat public en 2013, à l'issue duquel l'Andra a décidé de poursuivre ses études en y introduisant les modifications demandées.

En 2016, l'Andra a présenté ses études, à un stade intermédiaire, dans un ensemble de livrables comprenant notamment le « Dossier d'options de sûreté » (DOS) (69, 79). Ces livrables ont fait l'objet d'une revue internationale (100), d'une instruction technique de l'ASN et d'une évaluation par la CNE (102). Dans son avis n° 2018-AV-0300 du 11 janvier 2018 (67), l'ASN a indiqué que l'Andra avait acquis « *une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne, qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage* ».

L'Andra a décidé d'intégrer à la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) du centre de stockage Cigéo l'ensemble du bloc de Callovo-Oxfordien défini par la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA), dans lequel se déploient les ouvrages de stockage, ainsi que le volume des roches sus-jacentes accueillant les puits et les descenderies pour l'accès depuis les installations de surface (cf. Figure 2-43 du présent volume).

2.4.1.3 Les choix d'implantation des ouvrages de surface du centre de stockage Cigéo

2.4.1.3.1 Les objectifs et critères fondamentaux pour l'implantation des ouvrages de surface

L'emplacement de la meilleure zone pour l'implantation des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo se justifie principalement par des critères techniques et géologiques liés à la protection de la santé de l'homme et de l'environnement tout en respectant les volontés d'insertion locale et de développement exprimées par les acteurs locaux (cf. Chapitre 2.4.1.1 du présent volume).

Dès le début de la recherche de cette zone d'implantation des ouvrages souterrains, l'Andra a mené en parallèle un processus progressif pour identifier les parties du territoire les mieux à même d'accueillir les ouvrages de surface du centre de stockage Cigéo.

Les objectifs fondamentaux pour cette recherche des zones d'implantation potentielles des ouvrages de surface étaient les suivants :

- protéger la santé de l'homme et l'environnement des nuisances et des risques générés par le centre de stockage ;
- réduire les risques et les aléas pour l'activité industrielle ;
- respecter les attentes en matière d'insertion locale et d'aménagement du territoire exprimées par les acteurs locaux ;
- optimiser l'activité industrielle.

Une des principales dispositions d'implantation liée à la protection de la santé de l'homme et de l'environnement est le regroupement des bâtiments de surface sur deux zones séparées physiquement de plusieurs kilomètres.

En effet, le fonctionnement et les travaux d'extension progressif d'un centre de stockage en couche géologique profonde requièrent que ses infrastructures souterraines soient reliées à la surface par des puits verticaux. Ce type d'ouvrage d'accès constitue le chemin le plus court pour ventiler efficacement l'installation et pour y transférer des hommes et des matériels au plus vite, notamment en situation d'urgence. Autour de ces puits sont logiquement regroupés certains bâtiments en support aux activités souterraines. Une telle zone, dénommée zone « puits » dans les études de conception de l'Andra, est donc nécessairement située à l'aplomb de la zone dans laquelle le stockage est implanté (c'est-à-dire à l'aplomb de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien de la zone d'implantation des ouvrages souterrains).

Pour ce qui concerne le transfert des colis de déchets depuis la surface vers les zones de stockage, le critère principal de conception n'est ni le temps, ni la distance de transfert, mais la prévention des accidents susceptibles d'affecter les colis et d'entraîner des conséquences pour la santé de l'homme et de l'environnement. À cet égard, si les études de faisabilité menées jusqu'en 2005 avaient privilégié une descente des colis dans un puits vertical au moyen d'un monte-charge, l'analyse des risques a conduit à modifier la conception du projet pour rechercher un mode de transfert plus sécurisé. Un transfert par camion dans un tunnel, droit ou enroulé autour des puits, a été rejeté pour des raisons liées aux risques d'incendie. La conception s'est alors orientée vers une descente des colis dans des hottes confinantes, manutentionnées sur un plan incliné au moyen d'un funiculaire. C'est ce mode de transfert qui a été jugé le plus sûr, le plus robuste et le moins sujet aux défaillances compte tenu des charges de l'ordre de 120 tonnes à manutentionner. Ce choix de conception implique de creuser un tunnel incliné droit où transitent les hottes contenant les colis. Une inclinaison d'environ 12 % ayant été jugée favorable à la sécurisation des opérations, sa longueur est donc proche de 5 km (longueur nécessaire pour rejoindre, depuis la surface, la couche argileuse du Callovo-Oxfordien située à environ 500 mètres de profondeur). Autour de l'entrée de cette descenderie peuvent être regroupés les bâtiments nécessaires pour la réception, le contrôle et la préparation au stockage des colis. Une telle zone, dénommée « zone descenderie » dans les études de conception de l'Andra, peut être située dans un périmètre élargi par rapport à celui des infrastructures souterraines.

Aussi, dès les étapes initiales de recherche de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA - cf. Chapitre 2.4.1.2.2 du présent volume), l'Andra a défini un périmètre plus large que la zone de transposition pour la recherche de l'entrée de la descenderie et des bâtiments de surface qui lui sont associés. Ce périmètre d'implantation possible de l'entrée de la descenderie est présenté sur la figure 2-44 ci-après. Il est compris dans un rayon maximal d'environ 5 kilomètres autour de la zone transposition. Il est réduit au sud et à l'est de la zone pour éviter de traverser avec la descenderie des zones de fracturation géologiques (fossé de Gondrecourt-le-Château et zone de fracturation diffuse au sud-est). Sur ce point précis, l'objectif de l'Andra était de protéger les aquifères de cette zone en évitant tout impact ou risque sur la ressource en eau et sur son exploitation.

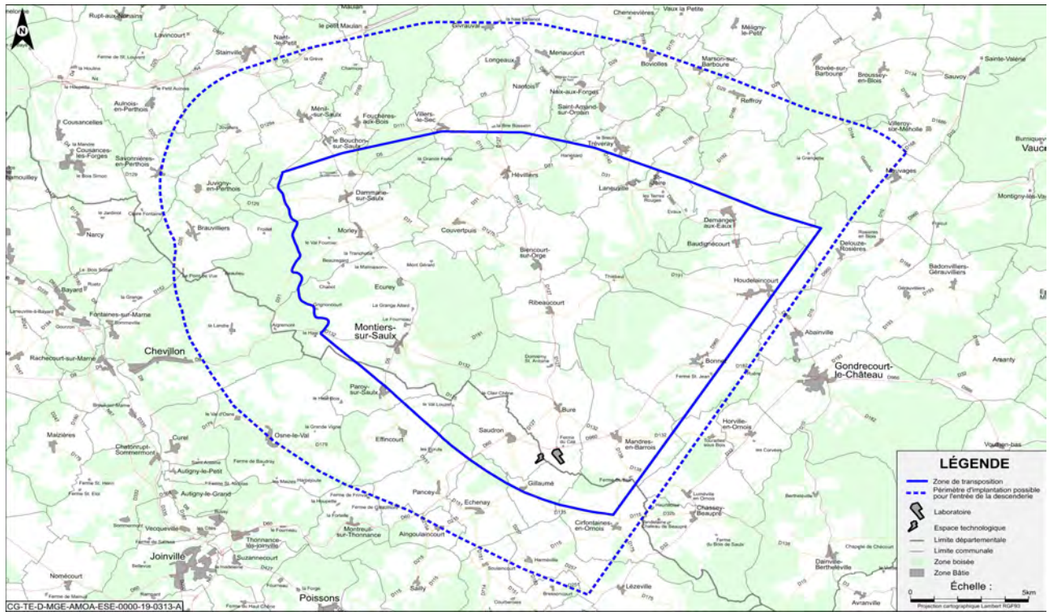


Figure 2-44 Périmètre d'implantation possible pour l'entrée de la descenderie présenté en 2009 aux acteurs locaux

2.4.1.3.2 La démarche d'identification des zones susceptibles d'accueillir les ouvrages de surface

À partir du choix de répartir les installations de surface d'un éventuel stockage sur au moins deux zones, l'une située à l'aplomb des infrastructures du stockage, la zone puits, et l'autre décalée dans un rayon de 5 kilomètres, la zone descenderie (cf. Chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume), l'Andra s'est engagée dans un processus d'identification des parties du territoire les plus propices à l'accueil de ces deux zones.

Un certain nombre de critères ont été fixés en lien avec les objectifs fondamentaux poursuivis par l'Andra (cf. Chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume).

Pour protéger la santé de l'homme et l'environnement, elle a recensé les zones urbanisées, les sites de paysages remarquables, les monuments historiques inscrits et classés, les périmètres de captage des eaux et les sites à enjeu du point de vue de la biodiversité (Natura 2000, Espaces naturels sensibles, zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) situées sur la zone élargie. Il faut noter qu'à l'époque, le bois Lejuc ne faisait pas l'objet d'un classement en ZNIEFF.

Pour réduire les risques externes sur l'installation elle-même, l'Andra a procédé à un inventaire des zones inondables, des aérodromes et des bandes situées dans l'axe de leurs pistes, des zones à fortes pentes et des installations industrielles existantes, gazoduc et parcs éoliens. Il faut noter que l'analyse des risques de foudroiement, de températures extrêmes, de séisme ou de feu de forêt n'a pas été jugée discriminante à l'échelle du territoire de la zone de transposition élargie.

Sur la base de cette recherche, l'Andra a produit une carte de synthèse (cf. Figure 2-45) identifiant sur le territoire les zones de contraintes et les zones à privilégier pour y implanter des installations de surface.

Dans un second temps, en parallèle des premières propositions de scénarios de zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA), l'Andra a pré-identifié 12 zones potentielles d'implantation des installations de surface (ZIIS) susceptibles de recevoir, soit la zone puits, soit la zone descenderie. Ces zones, d'environ 200 hectares d'un seul tenant, étaient toutes situées hors des zones de contraintes et à une distance conventionnelle de 200 mètres des zones urbanisées des villages.

Ces zones potentielles d'implantation des installations de surface ont été soumises au dialogue avec les acteurs locaux en parallèle des échanges sur l'implantation de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie 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 (95), 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. Cette volonté s'explique principalement par des facteurs historiques. En effet, il faut rappeler que, dans les années 1990, les deux départements avaient initialement candidaté séparément auprès de la mission de recherche pour accueillir un laboratoire de recherche souterrain (cf. Chapitre 2.3.1 du présent volume). Puis, ils ont fusionné leurs deux candidatures en une seule candidature commune, les études ayant notamment montré la continuité de la couche d'argileuse sur la zone. Or, la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) étant positionnée uniquement en Meuse, en grande partie pour des raisons liées à la géologie, le positionnement de la zone puits s'inscrit nécessairement aussi dans ce département (cf. Chapitre 2.4.1.2.2 du présent volume). Dans cette situation, seul le positionnement de la zone descenderie à la limite départementale était donc susceptible de s'inscrire dans la continuité de la candidature commune. Par ailleurs, la limite nord-ouest de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) est très proche de la Haute-Marne (moins d'un kilomètre à proximité du lieu-dit « Machère Côte »). Le choix de positionner la zone descenderie sur les deux départements garantissait donc de façon pérenne que la Haute-Marne serait associée aux décisions relatives à une installation nécessairement située à proximité immédiate. Il faut noter sur ce point la volonté exprimée en 2009 par les différentes communautés de communes de continuer d'être associées aux décisions portant sur le projet de stockage quels que seraient les choix retenus finalement pour son implantation[118]. Enfin, cette implantation assure aux deux départements un partage des revenus de la fiscalité générée par l'installation industrielle.

ÉVOLUTIONS FISCALES A VENIR

Par amendement n° II-1274 rect. Bis au projet de loi de finances pour 2021, les sénateurs messieurs Longuet, Menonville et Sido ont modifié la fiscalité applicable au centre de stockage en couche géologique profonde pour les déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (103).

L'article de loi adopté nécessite que d'autres textes au niveau réglementaire et/ou législatif soient pris pour que le nouveau dispositif soit applicable et qu'un nouveau chiffrage de la fiscalité puisse être fait. Dans l'attente, le chiffrage des composantes fiscales figurant dans le présent dossier n'a pas été modifié.

Suite aux échanges, l'Andra a pris en compte les attentes du territoire dans ses études de conception industrielle du centre de stockage menées à partir de 2011. Elle a ainsi affiné progressivement la répartition des bâtiments et installations entre les zones puits et descenderie, ainsi que l'emprise et le positionnement de ces deux zones. Pour limiter les risques et les nuisances pour l'Homme et l'environnement et pour des raisons d'optimisation de l'activité industrielle, l'Andra a décidé de spécialiser la zone descenderie autour des activités nucléaires et la zone puits autour des activités de soutien aux opérations souterraines. Ce choix permet de mieux contrôler les accès aux zones sensibles en vue de les protéger, d'optimiser la mise en place des dispositions de protection spécifiques de l'environnement (traitement des eaux, mesures d'évitement, réduction et compensation…), de faciliter la surveillance des différents types d'opérations et de leurs impacts, de rationaliser les activités, les métiers et les flux à l'intérieur de chaque zone et de réduire les transports entre les deux zones.

Sur la base notamment d'une analyse approfondie du territoire situé à l'aplomb de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA - fixée en mars 2010), l'Andra a identifié trois scénarios possibles pour l'implantation de la zone puits. Pour la zone descenderie, conformément aux attentes du territoire, elle a proposé un scénario d'implantation à la limite départementale de la Meuse et de la Haute-Marne. Ce scénario a été validé le 4 février 2013 par le Comité de haut niveau présidé par la ministre de l'Environnement. Les possibilités d'implantation des installations de surface ont été présentées lors du débat public de 2013 sur le projet de centre de stockage Cigéo.

À l'issue du débat public de 2013, considérant les nombreuses expressions des acteurs locaux (élus, collectivités, entreprises, syndicats, organisations professionnelles, association…) 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 du centre de stockage 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 des implantations des installations de surface. Les critères ayant prévalus aux choix de la localisation des emprises de la zone descenderie, de la zone puits, de la liaison intersites et de l'installation terminale embranchée, intégrés au projet en réponse à cet engagement sont décrits dans le chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume.

[118] Marie Françoise Navelot-Gaudnik, présidente du Syndicat mixte du Haut-Barrois, a transmis à l'Andra la motion adoptée par le comité syndical le 8 octobre 2009. Le comité syndical estime qu'il appartient aux scientifiques de faire le choix technique de l'emplacement souterrain le plus sécuritaire possible. Le comité syndical demande que toutes les intercommunalités et toutes les communes appartenant au périmètre de la zone de transposition soient concernées par une juste répartition des retombées économiques du projet et que les représentants de ces entités de proximité soient pleinement associés sur tous les projets de développement sur leur territoire. En particulier, le développement des infrastructures de transport liées au projet de stockage doit également servir le développement des projets portés sur le territoire du Syndicat mixte. Les avis collectés en 2009 ont été publiés dans le document de l'Andra intitulé « Étape 2009 : Proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface (68).

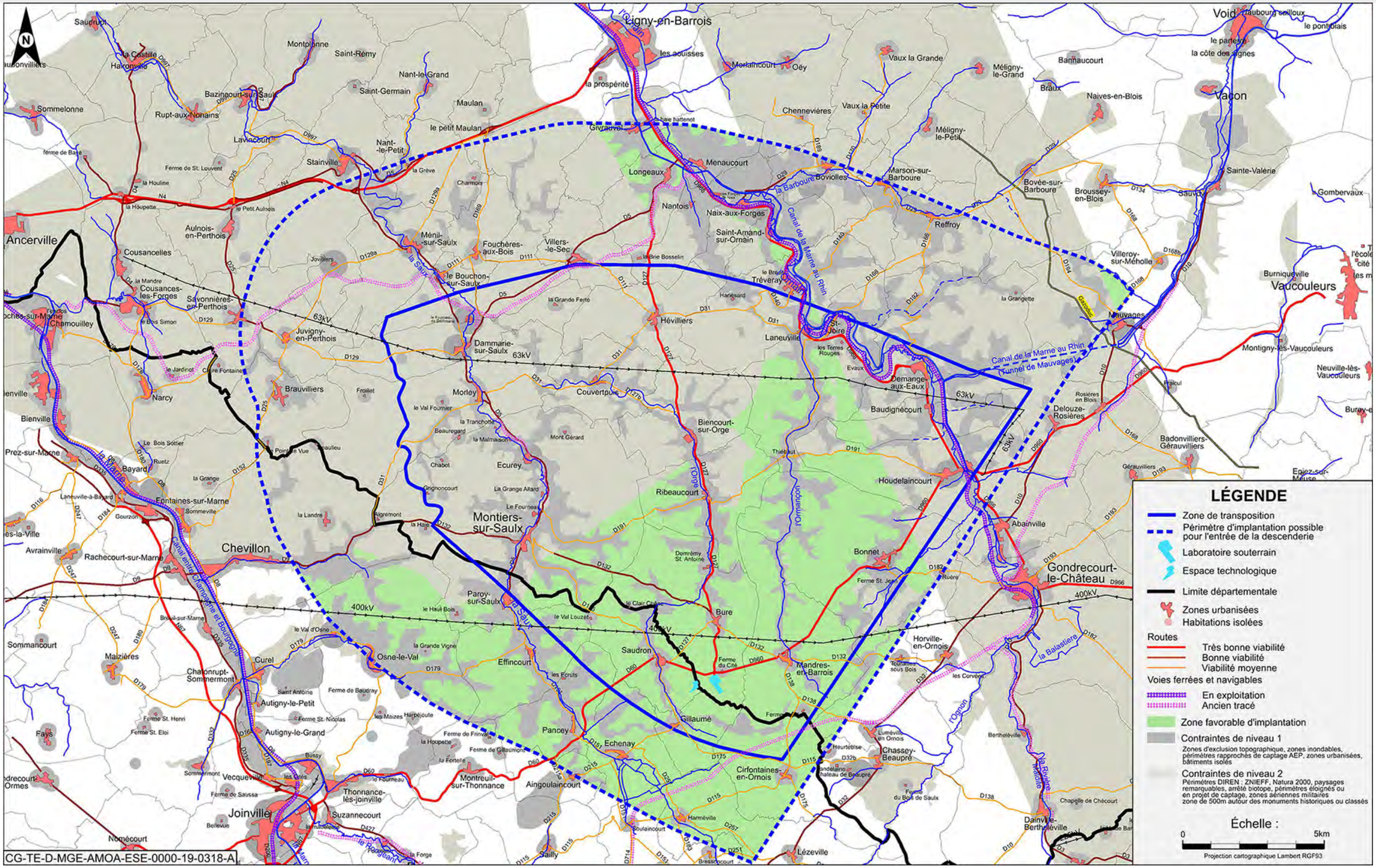


Figure 2-45 Carte de synthèse des contraintes pour implanter les installations de surface (2009)

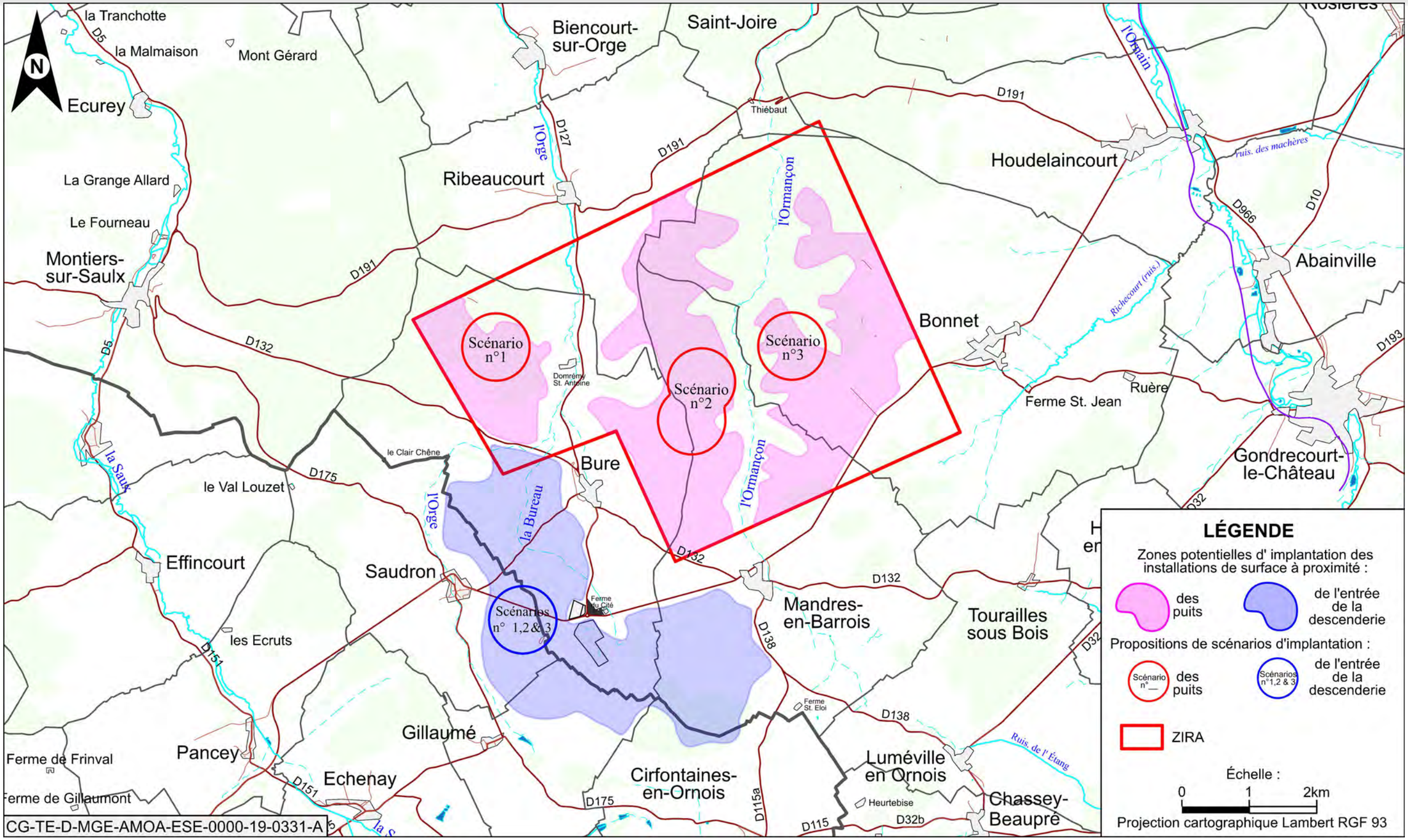


Figure 2-46 Proposition de scénarios d'implantation pour les installations de surface (débat public de 2013)

Synthèse des principes retenus pour la localisation 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 zone d'implantation des ouvrages souterrains, l'Andra a mené en parallèle un processus progressif pour identifier les parties du territoire les plus favorables pour l'implantation des installations de surface du centre de stockage.

L'Andra a d'abord fixé des objectifs fondamentaux pour l'implantation des ouvrages de surface :

- protéger la santé de l'homme et l'environnement des nuisances et des risques générés par le centre de stockage ;
- réduire les risques et les aléas pour l'activité industrielle ;
- respecter les attentes des acteurs locaux en termes d'insertion locale et d'aménagement du territoire ;
- optimiser l'activité industrielle.

Pour protéger la santé de l'homme et l'environnement, les installations de surface sont groupées sur deux zones principales :

- une zone, dénommée « zone puits », située à la verticale du bloc de Callovo-Oxfordien où sont implantés les ouvrages de stockage souterrain. En effet, les parties souterraines du centre de stockage doivent être reliées à la surface par des puits verticaux. Ce type d'ouvrage constitue le chemin le plus court et le plus efficace pour la ventilation et pour transférer vers les parties souterraines des matériels et des Hommes, ou pour les évacuer notamment en situation d'urgence. Les puits verticaux sont nécessaires à la sécurité de ce type d'installation ;
- une zone, dénommée « zone descenderie », située à quelques kilomètres des puits, dans laquelle est implantée l'entrée d'un tunnel incliné (descenderie) servant à la descente des colis de déchets radioactifs vers les zones de stockage. En effet, c'est leur manutention par un funiculaire dans un tunnel rectiligne de pente réduite (environ 12 %) qui est le moyen le plus sûr pour cette opération. En outre, pour ne pas risquer, à long terme, de générer des circulations d'eau à travers le stockage, les points où les puits et les descenderies rejoignent la couche argileuse du Callovo-Oxfordien doivent être autant que possible rapprochés. Ces options de sûreté imposent donc d'éloigner l'entrée de la descenderie de la zone des puits.

L'Andra a recensé les contraintes d'implantation des ouvrages de surface sur le territoire (zones urbanisées, paysages remarquables, monuments historiques, captage des eaux, sites à enjeu pour la biodiversité…). L'Andra a également procédé à un inventaire des risques humains et naturels (zones inondables, aérodromes, zones à fortes pentes…) qui pourraient avoir un impact sur les installations. Sur la base de cette recherche, l'Andra a produit une carte de synthèse identifiant les zones à éviter et les zones à privilégier. Puis, elle a pré-identifié 12 « zones potentielles d'implantation des installations de surface » (ZIIS), susceptibles de recevoir, soit la zone puits, soit la zone descenderie.

Ces zones potentielles d'implantation des installations de surface ont été soumises au dialogue avec les acteurs locaux en 2009. Ils ont exprimé des demandes fortes en termes de réduction des nuisances et de développement économique et social, notamment reliés par le comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne :

- 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.

2.4.1.3.3 Le choix de la localisation de la zone descenderie (ZD)

L'utilisation d'une descenderie (tunnel incliné) et d'un funiculaire pour descendre des colis de déchets vers les infrastructures souterraines de stockage a été choisie pour des raisons de protection de l'Homme et de l'environnement (cf. Chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume).

Pour limiter les risques et les nuisances et pour des raisons d'optimisation de l'activité industrielle (cf. Chapitre 2.4.1.3.2 du présent volume), l'Andra a décidé de regrouper autour de l'entrée de cette descenderie, l'ensemble des activités et bâtiments dédiés à la réception des colis, à leur contrôle et à leur préparation pour le stockage. Cette zone, dénommée zone descenderie, regroupe toutes les activités nucléaires menées en surface sur le centre de stockage Cigéo.

Pour la recherche du meilleur site pour l'implantation de la zone descenderie, l'Andra a tenu compte des contraintes environnementales retenues pour la recherche des zones potentielles d'implantation des installations de surface (éviter les zones urbanisées, les sites de paysages remarquables, la proximité des monuments historiques, les périmètres de captage des eaux, les sites à enjeu du point de vue de la biodiversité, les zones inondables, des zones de fort trafic aérien, les zones à fortes pentes et les zones proches d'installations industrielles existantes). Elle a également recherché une zone limitrophe des départements de la Meuse et de la Haute-Marne (cf. Figure 2-46) conformément à la volonté des acteurs locaux (cf. Chapitre 2.4.1.3.2 du présent volume).

L'Andra exploite dans cette zone le centre de Meuse/Haute-Marne (CMHM) qui accueille notamment le Laboratoire de recherche souterrain. Afin de valoriser et de mutualiser certaines fonctions déjà présentes au CMHM avec le centre de stockage Cigéo, en particulier lors des chantiers (utilités, parkings, locaux administratifs, accès…) et de réduire la consommation de nouvelles emprises, l'Andra a retenu, pour la zone descenderie du centre de stockage Cigéo, une implantation adjacente au CMHM. Compte tenu des surfaces disponibles et des capacités de desserte routière, l'Andra a utilisé cette zone pour y installer les bâtiments du centre de stockage dédiés à l'accueil du public, à la délivrance des autorisations d'accès et aux principaux services administratifs. Ces bâtiments de la zone descenderie servent pour l'ensemble du centre de stockage Cigéo, réduisant de fait l'emprise de ses autres zones, notamment de la zone puits.

L'Andra intègre à la zone descenderie l'ensemble des surfaces accueillant les bâtiments, ouvrages, équipements et, aménagements paysagers liés à son fonctionnement ou situés à sa proximité directe. Elle constitue une zone d'intervention potentielle[119] d'une surface totale de 296 ha (cf. Figure 2-47). Afin de couvrir les emprises des mesures de compensation environnementales localisées à ses abords directs, l'Andra y intègre une bande d'environ 24 hectares de milieux agricoles situés au sud-ouest.

Les partis pris d'aménagement interne et d'organisation de la zone descenderie sont présentés au chapitre 2.5.1.1 du présent volume.

[119] Une zone d'intervention potentielle recouvre les surfaces sur lesquelles les travaux ou installations sont susceptibles de s'étendre en surface ou en souterrain de façon potentielle, provisoire ou définitive (périmètre prévisionnel des travaux, installations de chantier…).

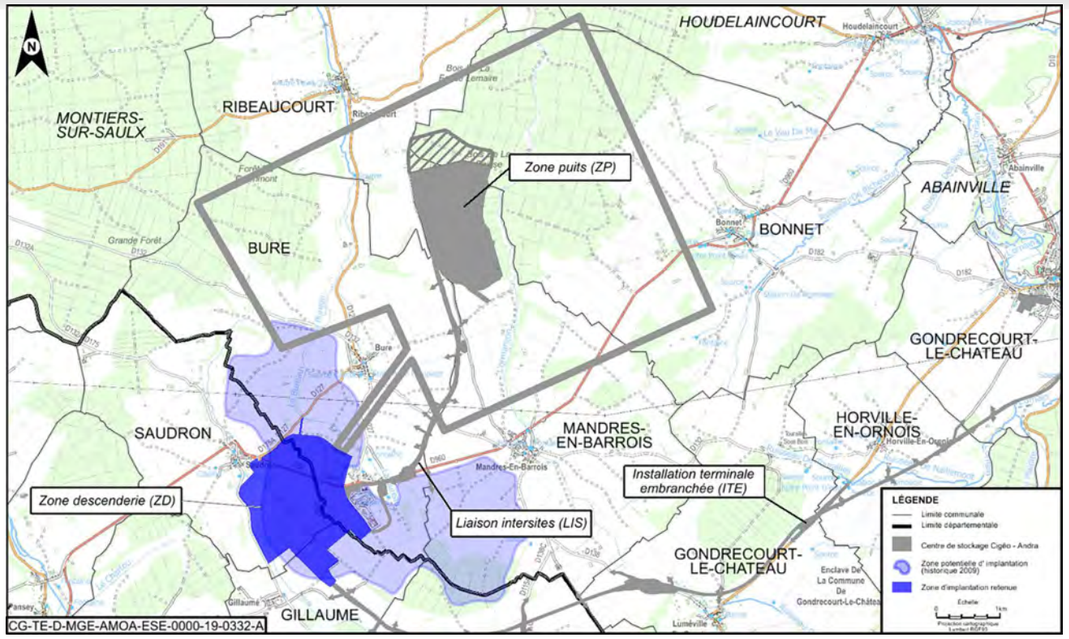


Figure 2-47 *Zone d'intervention potentielle retenue pour l'implantation de la zone descenderie*

Synthèse du choix de la localisation de la zone descenderie

Afin de protéger les aquifères, l'Andra a recherché pour la zone descenderie, au sein des zones potentielles d'implantation des installations de surface (ZIIS), une zone située au sud et à l'ouest de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS). Cette localisation évite que la descenderie traverse le fossé de Gondrecourt-le-Château et la zone de fracturation diffuse dans lesquels circulent des eaux souterraines. Pour des raisons de sécurité de la manutention, elle a recherché une zone située à environ 5 km des zones de stockage qui permet de concevoir une descenderie de pente d'environ 10 %.

Lors des échanges avec les acteurs locaux, ils ont exprimé leur volonté que la zone descenderie soit positionnée dans une zone limitrophe de la Meuse et de la Haute-Marne. Cette localisation symbolise et rappelle la candidature commune des deux départements pour l'accueil d'un laboratoire de recherche souterrain en vue de l'accueil d'un stockage en couche géologique profonde. Elle associe durablement la Haute-Marne aux décisions relative au centre de stockage (la zone d'implantation des ouvrages souterrains étant située exclusivement en Meuse). L'Andra a pris en compte ces attentes du territoire dans ses études de conception industrielle. Elle a proposé un scénario d'implantation de la zone descenderie sur la limite départementale, validé le 4 février 2013 par le comité de Haut-Niveau présidé par la ministre de l'Environnement. Ce scénario a été présenté lors du débat public de 2013 sur le projet de centre de stockage Cigéo.

Pour limiter les risques, réduire les nuisances et optimiser l'activité industrielle de la zone descenderie, l'Andra y a regroupé toutes les activités nucléaires. Ce choix permet notamment de mieux contrôler les accès, de mieux protéger les activités sensibles, d'optimiser les dispositions de protection de l'environnement et d'éviter les transferts de substances radioactives entre les zones. Pour réduire les surfaces globales, l'Andra a également regroupé sur la zone descenderie les bâtiments dédiés à l'accueil du public, à la mémoire, à la délivrance des autorisations d'accès et aux principaux services administratifs pour l'ensemble du centre de stockage Cigéo. Au final, l'Andra a retenu une zone d'implantation d'une surface totale de 296 ha, suffisamment éloignée du village de Saudron pour réduire les nuisances de la construction et du fonctionnement et les risques en cas d'accident. Située en secteur agricole, elle évite les zones écologiques sensibles situées au bord de l'Orge et permet de mettre en œuvre des mesures de réduction des impacts, notamment paysagers, et des mesures de compensation environnementales. Jouxtant les installations existantes du centre de Meuse/Haute-Marne de l'Andra, elle permet de mutualiser des infrastructures et des dessertes routières pour réduire l'impact global du projet.

2.4.1.3.4 Les choix de localisation liés à la zone puits (ZP)

a) Le choix de localisation de la zone puits

La nécessité de ventiler les infrastructures souterraines du stockage et d'y faire accéder rapidement les équipements et le personnel (ou au contraire l'évacuer) requièrent de les relier à la surface par des puits verticaux constituant le chemin le plus court pour ce type de transferts (cf. Chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume). La zone d'émergence de puits est donc nécessairement située à l'aplomb des infrastructures souterraines du stockage et dans l'emprise de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA).

Pour limiter les risques et les nuisances à l'Homme et à l'environnement et pour des raisons d'optimisation de l'activité industrielle (cf. Chapitre 2.4.1.3 et 2.4.1.3.1 du présent volume), l'Andra a décidé de regrouper autour de l'émergence de ces puits l'ensemble des activités et bâtiments dédiés au soutien aux opérations souterraines. Celles-ci consistent, d'une part en des opérations associées au stockage de colis de déchets, d'autre part en des travaux de construction progressive des infrastructures de stockage. Cette zone, dénommée zone « puits », regroupe de fait toutes les activités liées au soutien des travaux souterrains, y compris une surface dédiée au dépôt des déblais du Callovo-Oxfordien produits par les travaux de creusement (cf. Chapitre 2.5.3.5 du présent volume).

Pour la recherche du meilleur site d'implantation des puits, l'Andra a tenu compte des contraintes environnementales retenues pour la recherche des zones potentielles d'implantation des installations de surface (éviter les zones urbanisées, les sites de paysages remarquables, la proximité des monuments historiques, les périmètres de captage des eaux, les sites à enjeu du point de vue de la biodiversité, les zones inondables, des zones de fort trafic aérien et les zones à fortes pentes).

Trois scénarios d'implantation ont été retenus pour les puits et présentés lors du débat public de 2013 sur le projet global Cigéo. Tous privilégient une implantation des puits dans un massif boisé. En effet, l'implantation en milieu forestier présente le double avantage de faciliter l'intégration paysagère des bâtiments, en particulier des têtes de puits qui sont les ouvrages les plus élancés du centre (jusqu'à une quarantaine de mètres), tout en équilibrant la consommation des terrains entre les surfaces agricoles et les surfaces boisées. L'implantation de la zone descenderie (cf. Chapitres 2.4.1.3 et 2.4.1.3.3 du présent volume) prélevant déjà presque 300 ha de terres agricoles, il était essentiel, pour l'insertion locale du projet, de réduire au mieux tout autre prélèvement, particulièrement dans le contexte du plateau de Bure où les activités agricoles occupent le rôle prépondérant dans l'économie locale. La volonté de l'Andra de préserver le cadre de vie local répond sur ce point à une demande forte exprimée par les acteurs locaux relayée notamment par le Clis (95). De plus, à l'échelle nationale, la question de la préservation des terres agricoles constitue un enjeu de société. Enfin, la Meuse est un département fortement boisé, la forêt couvrant plus de 37 % de sa superficie. Les départements de la Haute-Marne et des Vosges, situés à proximité, sont également fortement boisés (respectivement 40 % et 50 % de leur surface) et la région Grand Est fait partie des régions les plus boisées de France (34 %). À l'échelle nationale, les surfaces boisées progressent d'environ 0,7 % par an depuis les années 80.

Parmi ces trois scénarios (cf. Figure 2-46), le premier (scénario 1) est implanté sur le territoire de la commune de Bure, dans la forêt domaniale de Montiers-sur-Saulx, conformément à la demande formulée en 2009 lors des échanges avec les acteurs locaux[120]. Lors des premières analyses des données d'inventaires écologiques, il est toutefois apparu que certaines espèces protégées d'oiseaux (Cigogne Noire et Milan Royal) et d'amphibiens (Triton Alpestre) avaient été observées dans la forêt de Montiers-sur-Saulx, mais n'avaient pas été observées sur les autres zones. Le scénario 1 était donc plus « sensible » du point de vue écologique . De plus, sur le plan technique, cette implantation est excentrée par rapport au cœur de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA), ce qui est techniquement contraignant pour le déploiement ultérieur de l'installation souterraine et pour son exploitation[121]. Pour des raisons environnementales et d'optimisation de l'activité industrielle, l'Andra n'a pas retenu le scénario 1 pour la poursuite de ses études.

Les scénarios 2 et 3 sont implantés en partie centrale de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA), dans des bois proches de la vallée de l'Ormançon (une implantation en limite de forêt a également été examinée dans un scénario 2bis). Le scénario 2 est situé dans le bois Lejuc sur la commune de Mandres en Barrois et le scénario 3 est situé dans la partie est du bois de la Caisse sur la commune de Bonnet. Les premières analyses des données d'inventaires écologiques ont montré qu'ils étaient équivalents sur le plan écologique.

En février 2013, le comité de Haut-Niveau (104) présidé par la ministre de l'environnement a demandé à l'Andra d'approfondir l'étude des scénarios 2 et 3 pour l'implantation de la zone accueillant les puits.

Suite à l'abandon du scénario 1 à la demande du comité de Haut-Niveau de février 2013 (cf. Chapitres 2.4.1.3 et 2.4.1.3.1 du présent volume), l'Andra a poursuivi ses études de conception de la zone d'implantation des puits en approfondissant le scénario 2 situé dans le bois Lejuc sur la commune de Mandres en Barrois et le scénario 3 situé dans la partie est du bois de la Caisse sur la commune de Bonnet. En parallèle, les études programmatiques du centre de stockage Cigéo ont permis d'affiner les fonctionnalités de la zone descenderie et de la zone accueillant les puits. Conformément aux critères environnementaux retenus pour les verses (cf. Chapitre 2.4.1.3.4b) du présent volume), les études ont aussi intégré la conception d'un nombre réduit de zones de dépôt, voire d'une unique zone de dépôt ayant la capacité d'accueillir l'ensemble des déblais de creusement du Callovo-Oxfordien dans ces mêmes bois.

Afin de choisir l'emplacement optimal pour les zones d'implantation des puits et des verses, l'Andra a analysé les scénarios selon les quatre objectifs fondamentaux définis pour la recherche des zones de surface (cf. Chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume). Dans le cas d'une comparaison entre une implantation dans le bois Lejuc ou dans le bois de la Caisse, il s'avère que les critères de « réduction des risques et aléas portant sur l'activité industrielle » et de « respect des volontés d'insertion locale et d'aménagement du territoire » ne sont pas véritablement discriminants, les deux implantations étant quasi-équivalentes sur ces aspects. L'Andra a donc approfondi son analyse en la faisant porter plus particulièrement sur les critères de « protection de l'Homme et de l'environnement des nuisances et des risques générés par le centre de stockage » et « d'optimisation de l'activité industrielle ».

Sur la base des éléments connus en 2014, les critères portant sur la protection de l'environnement tendaient à favoriser une implantation dans le bois Lejuc par rapport au bois de la Caisse. En effet, l'implantation dans le bois Lejuc permet l'éloignement maximal de la zone Natura 2000 du bois de Demange située sur la commune de Saint-Joire tout en conservant un éloignement équivalent à l'espace naturel sensible de la vallée de l'Ormançon (environ 200 mètres). Son intégration dans le paysage est meilleure car elle bénéficie de la déclivité du terrain vers l'Est et peut intégrer une lisière boisée sur presque toutes ses faces. Par ailleurs, elle est plus favorable à la protection de la ressource en eau car elle est située quasi intégralement sur le seul bassin versant de l'Ormançon (le bassin de l'Orge et de la Bureau sont déjà affectés par l'implantation de la zone descenderie). Une implantation dans le bois de la Caisse aurait concerné à la fois l'Ormançon et les bassins versants de plusieurs cours d'eaux locaux affluents de l'Ornain. En outre la topographie du site permettait d'implanter aisément les bassins des eaux aux points bas des emprises ce qui favorise la collecte et le rejet des effluents liquides. Surtout, elle évite d'avoir à franchir l'Ormançon pour les transports et liaisons entre la zone descenderie et la zone puits et la construction d'un ou de plusieurs ouvrages d'art qui seraient venus perturber l'espace naturel sensible.

En termes de biodiversité, il faut souligner que, sur la base des éléments connus en 2014, il n'y avait pas de différence notable entre les deux bois. Les études approfondies menées par l'Andra sur ce point montraient une quasi-équivalence de la richesse des deux massifs boisés. À cet égard, si le nombre d'espèces de chiroptères observés dans le bois Lejuc était légèrement supérieur[122], le nombre d'individus détectés était assez nettement inférieur. En termes d'éloignement des villages, les deux bois étaient aussi assez équivalents, le bois Lejuc étant situé plus près de la commune de Bure alors que le bois de la Caisse est plus proche de la commune de Bonnet. La qualité des boisements était aussi sensiblement équivalente, le bois de la Caisse étant même considéré comme supérieur, car moins endommagé que le bois Lejuc par la tempête de 1999. Le bois Lejuc constituait initialement un bois relevant du régime forestier (affouage et abattage des arbres pour valorisation énergétique, industrielle et en bois d'œuvre).

Les critères portant sur l'optimisation industrielle favorisaient également l'implantation dans le bois Lejuc. En effet, cette implantation permet d'organiser les zones pour les puits et les verses d'un seul tenant dans sa partie nord,

[120] Dans un courrier adressé le 27 mars 2009, le président de la communauté de communes du canton de Poissons indique « *nous voyons une opportunité, un lieu unique qui s'offre à nous : la forêt domaniale de Montiers sur Saulx d'une superficie de 1 500 hectares. Les installations de surface et les accès pourraient se situer à quelques kilomètres, sur le territoire de Saudron ou conjointement sur la frontière, dans l'environnement de Bure Saudron* ». Les avis collectés en 2009 ont été publiés dans le document de l'Andra intitulé « Étape 2009 : Proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface » (68).

[121] Le fait d'être excentré impose une direction de développement des infrastructures souterraines. Une position centrale permet de développer les installations dans plusieurs directions et réduit les distances de manutention des colis et d'intervention des secours.

[122] Vespertilions de Bechstein et d'Alcathoe et Sérotine commune observés uniquement sur le bois Lejuc, inversement Pipistrelle de Nathusius et petit Rhinolophe uniquement sur le bois de la Caisse.

ce qui limite au maximum les transports de déblais et les coûts et participe à la réduction des nuisances. Géographiquement, elle est plus proche de la zone descenderie ce qui permet de limiter la longueur de la descenderie et d'optimiser les coûts tout en restant à une valeur de pente de 12 % considérée comme favorable pour la prévention des risques et des accidents susceptibles d'entraîner des conséquences sur l'Homme et l'environnement (cf. Chapitre 2.4.1.1 du présent volume). Enfin, elle permet de positionner les puits quasiment au centre de la zone d'implantation des ouvrages souterrains ce qui favorise le développement de l'installation souterraine autour de cette zone centrale et limite le nombre et la longueur des galeries souterraines. Une implantation dans le bois de la Caisse aurait au contraire augmenté les longueurs de galerie et consécutivement les coûts, les consommations en matériaux et les déblais. Elle aurait rendu plus complexe le développement futur de l'installation et aurait entraîné des distances et des temps d'intervention plus longs au détriment de la qualité de l'exploitation et de la sûreté, en particulier en situation d'urgence.

Sur la base des objectifs de protection de l'Homme et de l'environnement et d'optimisation de l'activité industrielle, l'Andra a donc choisi en 2014 d'implanter les puits et les verses dans le bois Lejuc et d'affiner les études de conception du centre de stockage Cigéo en fonction de ce choix, notamment les études de la zone commune pour les puits et les verses, dénommée zone puits.

En 2016, le bois Lejuc a fait l'objet d'un classement en zone naturelle d'intérêt écologique, floristique et faunistique (ZNIEFF), car intégré dans une nouvelle ZNIEFF, d'emprise plus large, dénommée « Forêt de la Fosse Lemaire à Mandres-en Barrois ». L'inventaire des ZNIEFF est un outil de connaissance reconnaissant l'intérêt de la biodiversité observée sur une zone du territoire. Sur le département de la Meuse sont répertoriées plus de 230 ZNIEFF.

L'intégration du bois Lejuc dans une ZNIEFF est liée notamment à la présence de chiroptères. Leur présence ne constitue toutefois pas une exception sur le territoire. Dans le cas du bois Lejuc, les inventaires réalisés par l'Andra ont contribué à mieux connaître la biodiversité du site et à justifier le classement en ZNIEFF. Comparativement aux forêts et bois du secteur, ce boisement ne recèle pas d'habitat ou d'espèces exceptionnelles et ne présente pas une richesse écologique particulière.

L'Andra a toutefois pris en compte ce classement dans ces études en cherchant à réduire au maximum les emprises de la zone puits pour réduire au maximum son impact sur la ZNIEFF. Les emprises de la zone puits ont été optimisées (bâtiments, parking silos, circulations). En parallèle, L'Andra a relancé un cycle d'analyse technique visant à évaluer l'intérêt de déplacer les puits vers le sud de la zone d'implantation des ouvrages souterrains afin qu'ils émergent hors des zones boisées. Comme en 2014, les contraintes de développement du stockage, les risques supplémentaires en exploitation générés par l'allongement des galeries et l'impact potentiel sur les activités agricoles n'ont pas justifié de modifier le choix d'implantation des puits dans le bois Lejuc.

Pour chercher à réduire encore son impact sur la ZNIEFF, l'Andra a lancé un ensemble d'études visant à valoriser, hors de la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo, le Callovo-Oxfordien excavé lors des travaux. L'objectif est d'en évacuer le maximum vers l'extérieur du centre de stockage pour limiter réduire l'emprise de la zone de dépôt. La volonté de l'Andra est de valoriser tout le volume des verses « mortes » (environ 6,5 millions de m³) hors du centre de stockage Cigéo[123].

Pour valoriser les verses « mortes », leur utilisation pour combler des carrières est envisagée. Des études techniques ont également été lancées pour étudier la faisabilité de leur utilisation comme matériau de base pour la fabrication des ciments. Des résultats prometteurs ayant été obtenus en laboratoire, l'Andra lance actuellement des essais en partenariat avec des cimenteries industrielles. D'autres pistes très prospectives pourraient aussi concerner l'utilisation des verses pour les travaux routiers, pour la fabrication de briques ou de céramiques. À ce jour, la faisabilité de ces différentes pistes de valorisation ne peut toutefois pas être considérée comme définitivement acquise. Même si elle l'était, la pérennité de ces filières industrielles ne pourrait être garantie par l'Andra sur toute la durée du fonctionnement du stockage.

Parallèlement à la poursuite des travaux de recherche sur la valorisation des verses et pour réduire son impact sur la ZNIEFF, l'Andra a toutefois pris la décision de faire évoluer son projet en restreignant au strict minimum l'emprise de la zone de dépôt du Callovo-Oxfordien sur la zone puits du centre de stockage Cigéo. Seules les verses « vives » sont conservées sur la zone de dépôt (environ 4,5 millions de m³). En effet, il ne serait pas pertinent du point de vue économique et environnemental, notamment en termes d'impact des transports, d'expédier les verses « vives » hors de la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo pour valorisation, en attente de réapprovisionner plus tard le centre de stockage en matériau de fermeture. Par ailleurs, le comblement complet des galeries souterraine du centre de stockage avec un matériau « exogène » poserait nécessairement des questions complexes d'impact environnemental sur le lieu d'extraction de ce matériau et de compatibilité à long terme avec le Callovo-Oxfordien du site De plus, il apparaît utile de conserver sur le centre de stockage Cigéo le matériau permettant la fermeture de son installation souterraine afin de ne pas rendre plus complexe la décision de la génération qui engagera cette opération.

Dans le projet actuel de l'Andra, toutes les verses « mortes » sont considérées comme valorisées à l'extérieur du site dans les filières précitées. Elles sont évacuées régulièrement au fur et à mesure de leur production. Seules les verses « vives » sont conservées sur une zone de dépôt optimisée. L'Andra a ainsi réduit d'environ 39 hectares (20 %) la surface de la zone puits et corrélativement son impact sur la ZNIEFF. Les emprises préservées de la ZNIEFF sont situées au nord du bois Lejuc. Le maintien de la zone de dépôt le plus au sud possible permet ainsi d'éviter le corridor écologique répertorié dans le schéma régional de cohérence écologique (SRCE) du territoire. De plus, à long terme, la réutilisation de toutes les verses pour la fermeture permettra un retour à une situation plus proche de l'état initial dans la zone du bois Lejuc, sans dépôt définitif d'argile, puisque l'ensemble des verses, temporairement conservées sur le site, retournera dans le sous-sol.

À ce stade, l'Andra considère qu'il n'est pas possible de réduire plus encore les quantités de verses déposées sur la zone puits. La réduction de l'impact sur la ZNIEFF se fait au prix d'une plus grande complexité de gestion des matériaux des verses (tri, entreposage et évacuation au juste besoin) et d'une augmentation des transports vers l'extérieur du site, *a priori* par voie ferroviaire. Si les projets avec les cimenteries aboutissent, elle pourrait toutefois se révéler bénéfique en termes d'économie circulaire et de développement durable, le centre de stockage Cigéo étant lui-même un consommateur important de ciment pour ses ouvrages.

L'Andra a donc décidé d'intégrer à la zone puits l'ensemble des puits, bâtiments équipements et ouvrages de soutien aux opérations souterraines du projet, ainsi qu'une zone pour la gestion du Callovo-Oxfordien excavé. Elle constitue une zone d'intervention potentielle[124] d'une surface totale de 202 hectares (cf. Figure 2-48). L'Andra y intègre une vingtaine d'hectares de bandes forestières (situées aux abords directs) dans lesquelles seront mis en œuvre des mesures de renforcement de la lisière à des fins écologique et d'intégration paysagère.

Pour l'aménagement de la zone puits, l'Andra recherche un mode de déploiement graduel. Les ouvrages et bâtiments nécessaires au début de son exploitation seront réalisés lors de la phase de construction initiale (cf. Chapitre 4.1.2 du présent volume). La zone de gestion du Callovo-Oxfordien excavé sera étendue progressivement, en plusieurs phases, afin de limiter les impacts des opérations de défrichement associées. Cette stratégie permettra de réinterroger périodiquement, dans le futur, les priorités et les équilibres entre les choix de consommation d'espace agricole ou d'espace forestier. Le déploiement progressif de la zone de dépôt est présenté au chapitre 2.5.3.5 du présent volume.

Dans l'éventualité où les filières de valorisation des verses n'aboutiraient pas ou si leur pérennité venait à être remise en question pendant le fonctionnement du centre, l'Andra devrait avoir recours à une extension de la zone des verses à l'horizon 2070-2080. Cette opération nécessiterait éventuellement, sous réserve du contexte réglementaire à cette échéance, le dépôt d'une demande de déclaration d'utilité publique (DUP) modificative. Afin de couvrir cette incertitude et d'évaluer l'ensemble des impacts potentiels de son projet, l'Andra étudie et présente, dans l'étude d'impact environnemental, les incidences maximales du centre de stockage Cigéo, sans prendre en compte la réduction de 39 hectares de sa surface remaniée.

[123] Les verses « mortes » ne sont pas destinées à être réutilisées pour la fermeture de l'installation souterraine (cf. Chapitre 2.4.1.3.4b) du présent volume de l'étude d'impact).

[124] Une zone d'intervention potentielle identifie les surfaces sur lesquelles les travaux ou installations sont susceptibles de s'étendre en surface ou en souterrain de façon potentielle, provisoire ou définitive (périmètre prévisionnel des travaux, installations de chantier…).

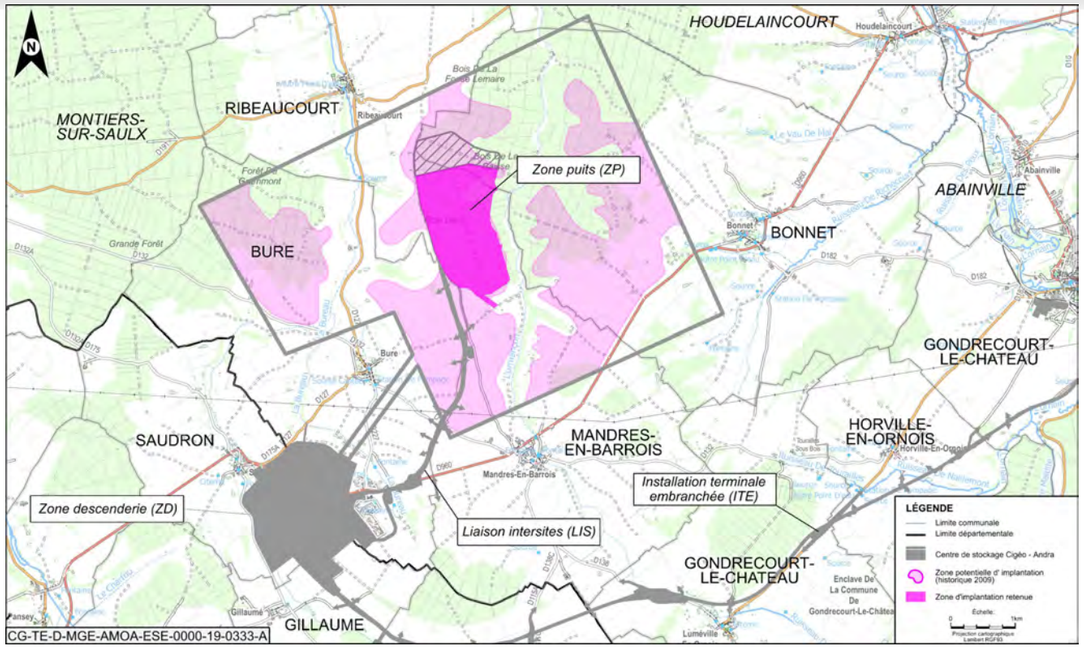


Figure 2-48 Zone d'intervention potentielle retenue pour l'implantation de la zone puits

LA VALEUR ECOLOGIQUE ACTUELLE DU BOIS LEJUC

Dans le cas du bois Lejuc, les inventaires réalisés par l'Andra en 2014 ont contribué à mieux connaître la biodiversité du site et à justifier le classement en ZNIEFF. Comparativement aux forêts et bois du secteur, ce boisement ne recèle néanmoins pas d'habitat ou d'espèces exceptionnelles et ne présente pas d'intérêt écologique particulier.

En 2019, une étude comparative sur les capacités d'accueil des boisements pour les espèces et les habitats déterminants pour une ZNIEFF a été menée sur les massifs forestiers du bois Lejuc, du bois de la Caisse et de la forêt de Montiers.

Il ressort que le bois Lejuc présente actuellement des milieux boisés plus favorables pour l'avifaune et les chiroptères que le bois de la Caisse et la forêt de Montiers. Cette évolution est principalement liée au gel de la gestion sylvicole dans le bois Lejuc depuis qu'il a été désigné comme faisant partie des emprises de la zone puits du projet, alors que les autres massifs forestiers ont continué d'être exploités. En particulier, les vieilles hêtraies du bois de Montiers ont récemment fait l'objet de coupes, ce qui réduit en grande partie l'intérêt écologique comparatif de ce boisement. Si l'intérêt écologique comparatif du bois Lejuc augmente en raison du gel de l'exploitation sylvicole, il ne recèle néanmoins pas de richesse écologique particulière à l'échelle du secteur.

Synthèse du choix de la localisation de la zone puits

Sur la base d'une analyse du territoire, l'Andra a identifié, au sein des zones potentielles d'implantation des installations de surface, trois scénarios pour l'implantation de la zone puits. Tous sont positionnés dans un massif boisé (forêt domaniale de Montiers-sur-Saulx, bois Lejuc, bois de la Caisse). Ce choix facilite l'intégration paysagère des puits et équilibre la consommation des terrains entre surfaces agricoles et surfaces boisées. En effet, la zone descenderie prélevant presque 300 ha de terres agricoles, il était essentiel de réduire les autres prélèvements dans un territoire où l'agriculture occupe le rôle prépondérant dans l'économie locale. Cette démarche répond à la demande de préservation du cadre de vie par les acteurs locaux.

En parallèle, l'Andra a recherché, au sein des zones potentielles d'implantation des installations de surface, les parties du territoire propices au dépôt des déblais du Callovo-Oxfordien extraite lors des creusements (environ 11 millions de m^3). Près de 40 % de leur volume sera réutilisé pour la fermeture de l'installation souterraine à la fin du fonctionnement du centre de stockage. Leur réutilisation réduit l'apport de matériaux extérieurs. Des objectifs environnementaux complémentaires ont été associés spécifiquement à la recherche des zones de dépôt de ces déblais dénommées « verses ». Il s'agissait notamment :

- de disposer les verses à proximité raisonnable des puits par lesquels le Callovo-Oxfordien est extrait pour réduire les nuisances associées au transport et les coûts ;
- de conserver l'argile à réutiliser dans une installation de l'Andra pour le surveiller et maîtriser sa qualité ;
- d'éloigner les verses des villages pour réduire les nuisances de leur exploitation (bruits, poussières…) ;
- limiter l'étalement et le morcellement des verses pour éviter le mitage du territoire et pour optimiser leur gestion (voiries, ouvrages de traitement des eaux pluviales…) ;
- protéger les eaux superficielles et souterraines en limitant le nombre des exutoires et des bassins versants affectés ;
- préserver le paysage en veillant à l'insertion paysagère des verses.

Sur la base de cette analyse, l'Andra a recherché les zones de dépôt ayant la capacité de recevoir la totalité des déblais à proximité des puits tout en respectant l'ensemble des contraintes. Comme pour les puits, l'implantation des zones de dépôts en milieu forestier présente le double avantage de faciliter leur intégration paysagère et d'équilibrer la consommation des terrains entre surfaces agricoles et surfaces boisées.

L'Andra a associé des zones d'implantation des verses à chacun des trois scénarios d'implantation des puits. Ensuite, elle a approfondi ses études de conception. Pour limiter les risques et les nuisances à l'homme et à l'environnement et pour des raisons d'optimisation de l'activité industrielle, l'Andra a décidé de regrouper autour de l'émergence de ces puits l'ensemble des activités et bâtiments dédiés au soutien aux opérations souterraines. Cela permet principalement d'optimiser les moyens et de réduire les distances de trajet pour l'accès aux puits.

Parmi les trois scénarios d'implantation des puits, la forêt domaniale de Montiers-sur-Saulx a été écartée pour des raisons environnementales et techniques. En effet, elle s'est révélée être plus sensible écologiquement lors des inventaires faunistiques et son caractère excentré sur la zone d'implantation des ouvrages souterrains contraint le déploiement et l'exploitation de l'installation souterraine. Le 4 février 2013, le comité de Haut-Niveau a demandé à l'Andra d'approfondir l'étude des scénarios situés dans le bois Lejuc et dans le bois de la Caisse. Les trois scénarios d'implantation des puits et leurs verses associées ont toutefois été exposés lors du débat public de 2013 sur le projet global Cigéo.

L'Andra a poursuivi les études de conception du centre de stockage dans le bois Lejuc et dans le bois de la Caisse. Pour des critères portant sur la protection de l'environnement, elle a retenu en 2014 une implantation des puits et de la zone de dépôt dans le bois Lejuc. Ce choix permet notamment un éloignement maximal de la zone Natura 2000 du bois de Demange et une meilleure intégration paysagère bénéficiant de la déclivité du terrain vers l'Est. Surtout, elle évite d'avoir à franchir l'Ormançon, espace naturel sensible, pour les transports et liaisons entre la zone descenderie et la zone puits. En termes de biodiversité, il n'y avait pas, en 2014, de différence notable de richesse entre les deux massifs boisés. Les études approfondies menées par l'Andra sur ce point montraient une quasi-équivalence, notamment pour ce qui concerne les chiroptères. La qualité des boisements du bois Lejuc était considérée comme inférieure, car il avait été fortement endommagé par la tempête de 1999.

Les critères d'optimisation industrielle favorisent également l'implantation dans le bois Lejuc. Elle permet d'organiser la zone des puits et la zone des verses d'un seul tenant et réduit la longueur de la descenderie ce

qui réduit les impacts et optimise les coûts. Enfin, située quasiment au centre de la zone d'implantation des ouvrages souterrains, elle favorise le développement de l'installation souterraine à partir d'une zone centrale, limite le nombre et la longueur des galeries souterraines et réduit donc les temps d'intervention, en particulier en situation d'urgence.

En 2016, le bois Lejuc a fait l'objet d'un classement en zone naturelle d'intérêt écologique, floristique et faunistique (ZNIEFF), car intégré dans une nouvelle ZNIEFF, d'emprise plus large, dénommée « Forêt de la Fosse Lemaire à Mandres-en Barrois ». L'intégration du bois Lejuc dans une ZNIEFF est liée notamment à la présence de chiroptères. Elle ne constitue toutefois pas une exception sur le territoire. Dans le cas du bois Lejuc, c'est la richesse des observations disponibles, issues des inventaires réalisés par l'Andra, qui a entraîné l'intégration à la ZNIEFF. Par rapport aux autres forêts et bois du secteur, il n'abrite pas d'intérêt écologique particulier.

L'Andra a toutefois tenu compte de ce classement en réduisant au mieux la surface de la zone puits (optimisation globale des bâtiments, parking silos…). Elle a relancé un cycle d'analyses techniques visant à réévaluer l'intérêt de déplacer les puits hors des zones boisées. Comme en 2014, les contraintes de développement de l'installation souterraine, les risques supplémentaires générés par l'allongement des galeries et l'impact sur les activités agricoles ont confirmé le choix d'implantation dans le bois Lejuc.

Pour réduire encore son impact sur la ZNIEFF, l'Andra a lancé des études pour valoriser hors de Cigéo l'argile excavé. Son utilisation est étudiée par exemple pour combler des carrières ou comme matériau de base pour la fabrication des ciments. À ce jour, la faisabilité et la pérennité des pistes de valorisation industrielle envisagées ne peut pas encore être considérée comme acquise. L'Andra a toutefois pris la décision de faire évoluer son projet en restreignant la zone de dépôt pour la seule conservation de l'argile qui sera réutilisé pour la fermeture de l'installation souterraine (environ 4,5 millions de m^3). En effet, du point de vue économique, environnemental et pour la sûreté à long terme, il n'est pas pertinent de valoriser ce matériau hors de Cigéo pour réapprovisionner plus tard le centre de stockage en matériau de fermeture exogène. (environ 6,5 millions de m^3), Cette mesure réduit la surface remaniée d'environ 39 ha. À ce stade, l'Andra considère qu'il n'est pas possible de réduire encore les quantités de verses sur la zone puits. La réduction de l'impact sur la ZNIEFF se fait au prix d'une plus grande complexité de gestion des déblais du Callovo-Oxfordien (tri, entreposage temporaire, évacuation au juste besoin, dépôt) et d'une augmentation des transports vers l'extérieur du site. Au final, l'Andra a retenu une zone d'implantation d'une surface totale de 202 hectares située dans la partie sud du bois Lejuc lui permettant d'implanter sur une même zone optimisée les puits, les installations supports aux activités souterraines et la zone de gestion du Callovo-Oxfordien excavé.

b) Le choix de la localisation des zones de verses sur la zone puits

La définition du site d'implantation des verses fait suite à une démarche progressive menée entre 2009 et 2013, en parallèle du processus de définition de l'implantation des zones de surface.

Le Callovo-Oxfordien excavé progressivement du sous-sol par les travaux souterrains représente, à terminaison de la construction de l'installation souterraine, un volume de l'ordre de 11 millions de m^3.

Environ 40 % du volume de Callovo-Oxfordien excavé devra être réutilisé à terme pour le remblayage des galeries lors des opérations de fermeture définitive du centre de stockage Cigéo, ce qui permet de réduire l'apport de matériaux extérieurs. Cette part du Callovo-Oxfordien excavé est conservée sous forme de dépôts dénommés « verses » (les verses sont des tas de matériaux, constitués en les déposant par le haut, comme par exemple pour un terril de mine).

Les volumes de Callovo-Oxfordien excavés voués à être réutilisés pour remblayer les galeries de l'installation souterraine, à l'issue du fonctionnement du centre de stockage, sont appelés « verses vives ».

Les volumes de Callovo-Oxfordien excavés qui ne seront pas réutilisés sur le centre de stockage Cigéo sont dénommés « verses mortes ».

Les autres roches excavées, notamment les roches sus-jacentes excavées lors du creusement des descenderies et des puits (calcaires, marnes, argiles du Kimméridgien…), sont intégralement utilisées comme remblais lors des terrassements de surface du centre de stockage Cigéo.

Dès les premières phases de conception du projet de stockage, l'Andra a étudié les options possibles pour gérer les verses dans le respect de ses objectifs de protection de l'Homme et de l'environnement (cf. Chapitre 2.4.1.3.2 du présent volume).

Les objectifs complémentaires de l'Andra étaient :

- de conserver le Callovo-Oxfordien, en vue de la fermeture des ouvrages, pour permettre le comblement des galeries par un matériau correspondant (ou proche) de celui constituant le milieu hôte et ainsi limiter les perturbations physico-chimiques du sous-sol ;
- de conserver le Callovo-Oxfordien à réutiliser dans une installation de l'Andra pour le surveiller et maîtriser sa qualité ;
- sur l'installation de l'Andra, de disposer la zone de gestion des déblais du Callovo-Oxfordien excavé à proximité raisonnable des puits de manière à limiter les transports de matériaux et ainsi les nuisances associées à leur transport et les coûts.

Par ailleurs, certaines contraintes environnementales, également retenues pour la recherche des zones potentielles d'implantation des installations de surface, s'appliquent également à la recherche du meilleur site d'implantation des verses (éviter les zones urbanisées, les sites de paysages remarquables, la proximité des monuments historiques, les périmètres de captage des eaux, les sites à enjeu du point de vue de la biodiversité, les zones inondables).

Certains critères liés à la protection de l'activité industrielle (éviter les zones de fort trafic aérien, les zones à fortes pentes et les zones proches d'installations industrielles existantes) sont moins sensibles pour ces dépôts de Callovo-Oxfordien que pour les autres installations du centre de stockage.

La localisation de la meilleure zone pour le dépôt des verses a fait partie intégrante de l'analyse d'implantation des installations de surface. Trois solutions techniques ont été étudiées prenant en compte les capacités d'extraction de ces matériaux par les descenderies et par les puits :

- une solution dite « équilibrée » entre la zone descenderie et la zone puits ;
- une solution de dépôt à proximité de la zone descenderie ;
- une solution à proximité de la zone accueillant les puits.

Une première cartographie recensant les espaces potentiels de stockage des verses à proximité des sites d'aménagement du centre de stockage Cigéo a été établie.

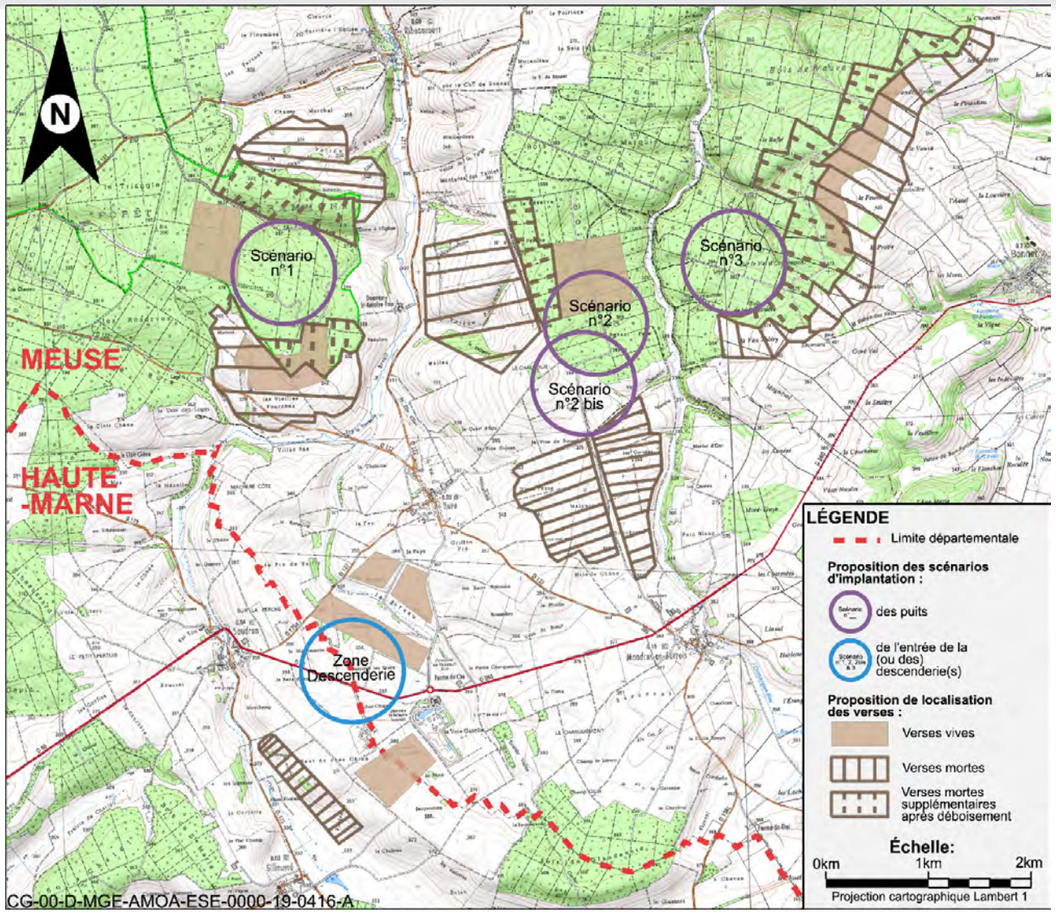


Figure 2-49 Localisations des zones potentielles de dépôt des déblais sous forme de verses étudiées en 2012

Une analyse de ces différentes implantations possibles a été conduite sur la base de critères environnementaux. Les principes poursuivis consistaient à :

- éloigner les zones de dépôt des zones naturelles d'intérêt pour réduire les incidences sur la biodiversité (zones humides, zones de protection, zones d'inventaires, zones de protection foncières, espaces naturels sensibles) ;
- éloigner les zones de dépôt des villages pour réduire les nuisances spécifiques liées à l'exploitation des verses (occupation des sols, bruits, poussières…) ;
- limiter l'étalement et le morcellement des zones de dépôt pour éviter le mitage du territoire et pour optimiser leur gestion (voiries, plateformes de travail, bassins et traitements des eaux pluviales) ;
- protéger les eaux superficielles et souterraines en limitant le nombre d'exutoires et de bassins versants affectés ;
- préserver le paysage en veillant à l'insertion paysagère des verses tel que demandé par les acteurs locaux lors des échanges sur les zones potentielles d'implantation des installations de surface.

[125] Compte tenu des pentes des dépôts, une verse globale consomme nécessairement moins de surface au sol que plusieurs.

Sur la base de cette analyse, l'Andra a recherché des zones de dépôt ayant la capacité de recevoir la totalité du Callovo-Oxfordien excavé à proximité des puits tout en respectant l'ensemble des contraintes et critères environnementaux.

La réduction maximale du nombre de zones de dépôt permet d'optimiser les verses et de limiter leur surface au sol [125]. Une surface réduite limite les mouvements de matériaux sur la zone de dépôt et les nuisances associées (poussières, bruits…). De plus, la réduction du nombre de verses évite le mitage du territoire en réduisant le nombre d'emplacements où doivent être implantées des activités industrielles. Elle réduit donc les incidences sur les activités humaines du territoire, notamment les transports ou l'agriculture.

Comme pour les puits, l'implantation des verses en milieu forestier présente le double avantage de faciliter l'intégration paysagère des zones de dépôts qui sont assez élevées (proche d'une vingtaine de mètres) tout en équilibrant la consommation des terrains entre surfaces agricoles et surfaces boisées.

L'Andra a alors proposé trois scénarios possibles d'implantation des verses, associés aux scénarios d'implantation des puits présentés lors du débat public de 2013. Pour ces scénarios, l'Andra a recherché le meilleur équilibre entre l'extension de la superficie des verses et leur hauteur. En effet, selon leur localisation, les hauteurs « acceptables » vis-à-vis de l'insertion paysagère sont de quelques mètres à une vingtaine de mètres dans le cas de la présence de talweg ou de boisements élevés.

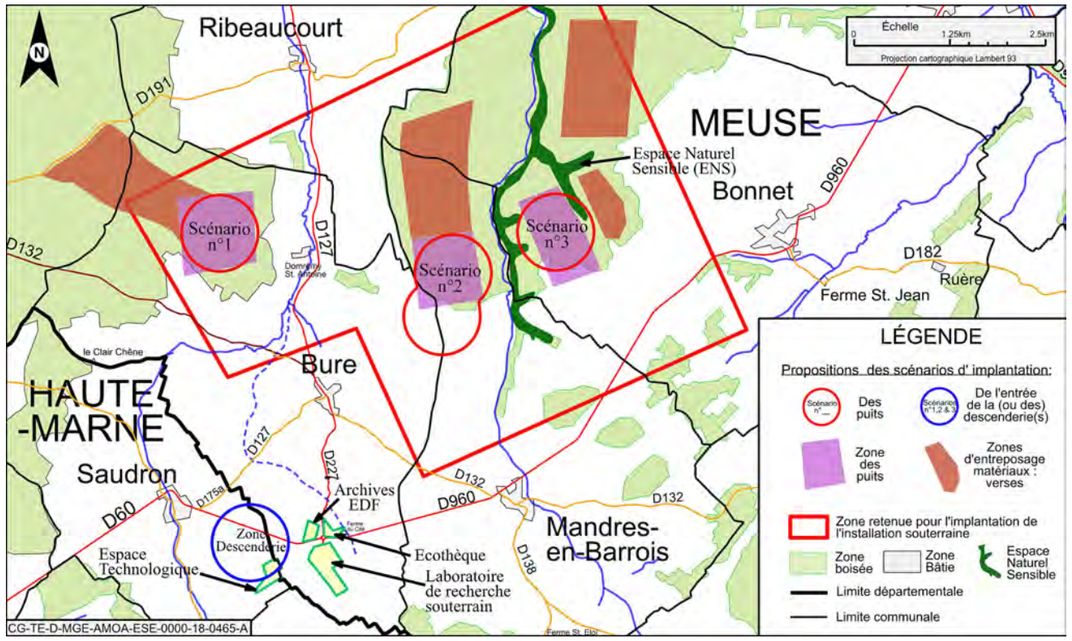


Figure 2-50 Localisations possibles de zones de verses économisant l'espace agricole

Le déploiement du stockage des verses constituées de l'argile du Callovo-Oxfordien excavée lors des travaux de construction progressive de l'installation souterraine se fera progressivement en trois zones. Dans l'objectif de ne pas utiliser la troisième zone, l'Andra a lancé un ensemble d'études visant à valoriser dans des filières techniques les verses non nécessaires à la fermeture des installations souterraines (ou verses « mortes »).

Synthèse du choix de la localisation des zones de verses

Dès les premières phases de conception du projet de stockage, l'Andra a étudié les options possibles pour gérer les verses afin de répondre à ses objectifs de protection de l'Homme et de l'environnement (dans le respect de contraintes environnementales telles que l'évitement des zones urbanisées, sites de paysages remarquables, monuments historiques, périmètres de captage des eaux, sites à enjeu de biodiversité, zones inondables). Les objectifs complémentaires de l'Andra étaient :

- de conserver les déblais du Callovo-Oxfordien, en vue de la fermeture des ouvrages, pour permettre le comblement des galeries par un matériau correspondant (ou proche) de celui constituant le milieu hôte et ainsi limiter les perturbations physico-chimiques du sous-sol ;
- de conserver les déblais du Callovo-Oxfordien à réutiliser dans une installation de l'Andra pour le surveiller et maîtriser sa qualité ;
- sur l'installation de l'Andra, de disposer la zone des gestions des déblais du Callovo-Oxfordien excavé à proximité raisonnable des puits de manière à limiter les transports de matériaux et ainsi les nuisances associées à leur transport et les coûts.

La définition du site d'implantation des verses fait suite à une démarche progressive menée entre 2009 et 2013, en parallèle du processus de définition de l'implantation des zones de surface. Les possibilités d'implantation ont été analysées sur la base de critères environnementaux. La réduction maximale du nombre de zones de dépôt permet d'optimiser les verses et de limiter leur surface au sol. Une surface réduite limite les mouvements de matériaux sur la zone de dépôt et les nuisances associées (poussières, bruits...). De plus, la réduction du nombre de verses évite le mitage du territoire en réduisant le nombre d'emplacements où doivent être implantées des activités industrielles. Elle réduit donc les incidences sur les activités humaines du territoire (transports, agriculture...).

Comme pour les puits, l'implantation des verses en milieu forestier présente le double avantage de faciliter l'intégration paysagère des zones de dépôts qui sont assez élevées (proche d'une vingtaine de mètres) tout en équilibrant la consommation des terrains entre surfaces agricoles et surfaces boisées.

L'Andra a proposé trois scénarios possibles d'implantation des verses, dont la localisation est présentée en figure 2-50.

2.4.1.3.5 Le choix de la localisation de la liaison intersites (LIS)

Le regroupement des activités, ouvrages et bâtiments de surface sur deux zones distinctes (cf. Chapitres 2.4.1.3.1 et 2.4.1.3.2 du présent volume) implique nécessairement un certain nombre de transferts et de déplacements entre les deux zones. Le personnel d'exploitation sera amené à se déplacer et certains équipements et matériaux reçus par voie ferroviaire sur la zone descenderie devront être transportés jusqu'à la zone puits. Par ailleurs, le creusement et l'équipement des descenderies étant *a priori* plus rapide que celui des puits, les premiers déblais de Callovo-Oxfordien (environ 10 % du total) seront extraits par les descenderies avant de pouvoir être extraits par un puits. Il sera donc nécessaire de les transférer de la zone descenderie vers la zone puits pour leur dépôt sur les verses. La volonté de réduire les incidences et les risques pour l'Homme et l'environnement associés à ces différents déplacements et transferts a conduit l'Andra à étudier la création d'une liaison dédiée entre la zone descenderie et la zone puits dénommée « liaison intersites » (LIS). Par ailleurs, une route d'accès à la zone puits doit être créée notamment pour son accès par les véhicules légers du personnel.

Les principaux objectifs environnementaux de l'Andra pour l'implantation de ces équipements sont :

- d'éviter les zones écologiques sensibles ;
- de limiter les nuisances sonores et la production de poussières ;
- de limiter autant que possible les impacts sur l'activité agricole ;
- de garantir une bonne insertion paysagère.

Afin de réduire les nuisances liées au transfert des matériaux de la zone descenderie vers la zone puits, l'Andra a privilégié la création d'une infrastructure de transfert spécifique, plutôt que de les transporter par camions. Un transfert aérien par câble et une bande transporteuse ont été étudiés. L'Andra a également recherché un tracé de la liaison éloigné des habitations, à mi-chemin des villages de Bure et de Mandres en Barrois. La sécurité routière a été prise en compte par la création d'une voie privée, dédiée au trafic des poids lourds entre les deux zones.

Afin de recueillir les avis et recommandations des acteurs locaux sur la LIS, l'Andra a organisé plusieurs ateliers et échanges dans le cadre de sa concertation post-débat public. Cette concertation a permis de confirmer le choix d'une bande transporteuse semi-enterrée pour le transfert des matériaux, le transfert par câble ayant été jugé peu compatible avec une bonne intégration paysagère. Afin de limiter l'impact sur l'activité agricole, la voie pour les véhicules légers et la voie poids lourds ont été accolées autant que possible de façon adjacente à la bande transporteuse. L'altimétrie et le tracé final ont été définis pour éviter les zones écologiques sensibles et pour limiter au mieux l'impact visuel. Les voies interrompues par la LIS sont rétablies pour réduire l'impact sur les circulations locales et les activités agricoles.

L'Andra intègre à la LIS la bande transporteuse, la voie privée poids lourds, la voie publique pour l'accès des véhicules légers à la zone puits, les ouvrages de gestion des eaux et tous les rétablissements. Elle constitue une zone d'intervention potentielle d'environ 46 hectares.

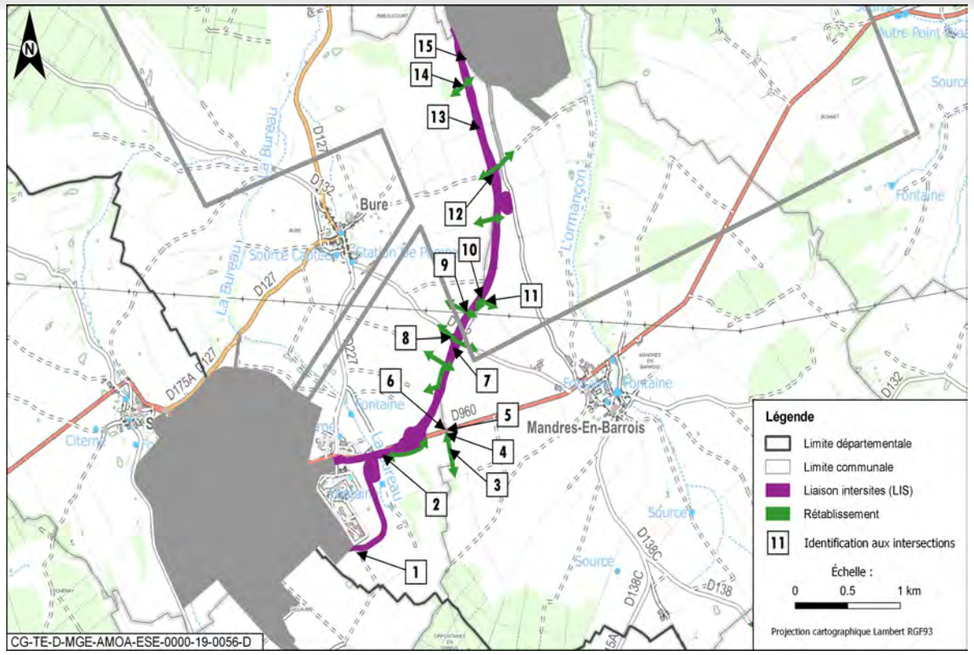


Figure 2-51 Zone d'intervention potentielle pour l'implantation de la liaison intersites (LIS)

Synthèse du choix de la localisation de la liaison intersites (LIS)

Le regroupement des activités, ouvrages et bâtiments de surface du centre de stockage Cigéo sur la zone descenderie et sur la zone puits implique nécessairement des transferts et des déplacements entre ces deux zones. Pour réduire les incidences et les risques pour l'Homme et l'environnement associés à ces opérations, l'Andra a étudié la création d'une liaison dédiée, dénommée « liaison intersites » (LIS). Par ailleurs, une route d'accès à la zone puits doit être créée pour son accès par les véhicules légers du personnel.

Afin de réduire les nuisances liées au transfert des matériaux entre les zones, l'Andra a privilégié la création d'une infrastructure spécifique (bande transporteuse semi-enterrée), plutôt que d'utiliser des camions. Pour cette infrastructure, un tracé éloigné des habitations a été recherché, à mi-chemin des villages de Bure et de Mandres en Barrois. La sécurité routière a été prise en compte en créant une voie privée dédiée au trafic des poids lourds entre les deux zones, parallèle à la voie pour les véhicules légers et à la bande transporteuse. L'altimétrie et le tracé final ont été définis pour éviter les zones écologiques sensibles et limiter au mieux l'impact visuel. Les voies interrompues sont rétablies pour réduire l'impact sur les circulations locales et les activités agricoles. Afin de recueillir les avis et recommandations des acteurs locaux, l'Andra a organisé plusieurs ateliers et échanges dans le cadre de sa concertation post-débat public. Au final, l'Andra a retenu une surface d'environ 46 hectares pour l'implantation de la bande transporteuse, de la voie privée poids lourds et de la route pour l'accès des véhicules légers à la zone puits.

LES PRINCIPAUX APPORTS DE LA CONCERTATION SUR LA LIAISON INTERSITES (LIS)

La concertation post-débat public sur la liaison intersites a permis de choisir la solution technique de référence, de définir les rétablissements[126] et de discuter de l'insertion paysagère.

Les principaux apports de la concertation à la définition de la solution de référence concernent :

- le choix de la bande transporteuse semi-enterrée plutôt que le transfert par câble ;
- le choix des ouvrages d'art pour les rétablissements de la route départementale D60/960, de la route départementale D132 et du chemin rural de Bure à Bonnet ;
- les rabattements vers la voie publique pour les autres rétablissements.

Cette solution de référence est intégrée au projet et étudiée dans la présente étude d'impact.

[126] Lorsqu'une nouvelle infrastructure de transport est construite (route, voie ferrée, canal), elle coupe forcément des voies existantes. Il faut donc bâtir des ouvrages d'art (ponts ou trémies) permettant de rétablir la voie concernée. Ces ouvrages sont dénommés « rétablissements ».

2.4.1.3.6 Le choix de la localisation de l'installation terminale embranchée (ITE)

La volonté de réduire les nuisances à l'Homme et à l'environnement générées par les transports par camion et le respect de la volonté du territoire de favoriser le recours au transport ferroviaire, notamment pour le transport et la livraison des colis de déchets radioactifs, ont conduit l'Andra à étudier la desserte ferroviaire du centre de stockage. À la suite du débat public de 2013 (cf. Chapitre 2.3.3.3 du présent volume), le Conseil d'administration de l'Andra a décidé « *le raccordement du site au réseau ferré national, pour permettre l'acheminement des colis de déchets par le rail jusqu'à Cigéo* » (32).

Afin de réduire la consommation de terres agricoles et d'éviter les impacts associés à la création d'une nouvelle ligne, l'Andra a cherché à réutiliser au maximum la plateforme de l'ancienne ligne ferroviaire reliant Joinville à Gondrecourt-le-Château. La valorisation de l'ancienne ligne ferroviaire permet de se connecter avec la ligne ferroviaire 027000 gérée par SNCF Réseau à proximité de la commune de Gondrecourt-le-Château (cf. Chapitre 2.4.2.4 du présent volume).

Les études ont permis de valoriser 10 km de plateforme existante sur 14 km de voie ferrée au total. Seuls 4 km de voie ferrée sont à créer sur la fin du parcours entre Cirfontaines-en-Ornois et la zone descenderie. Le tracé de ces derniers kilomètres est très contraint par les altimétries de l'ancienne plateforme et de la zone descenderie à desservir. Sur les 14 km, la largeur de la plateforme permet de créer une piste le long des voies pour la circulation des véhicules du personnel de maintenance. Cet équipement ferroviaire, qui permet d'embrancher le centre de stockage Cigéo au réseau ferré national est dénommé « installation terminale embranchée » (ITE).

Afin de recueillir les avis et recommandations des acteurs locaux sur la l'ITE, l'Andra a organisé plusieurs ateliers et échanges dans le cadre de sa concertation post-débat public. Cette concertation a permis de confirmer le choix du tracé, notamment des préférences claires pour le rétablissement de la route départementale D32 et pour la traversée de la gare de Luméville-en-Ornois. Elle a également permis de nombreuses optimisations des rétablissements routiers des voies traversées par l'ITE pour réduire l'impact sur les circulations locales et les activités agricoles.

Par ailleurs, l'Andra a acquis en 2011 une friche industrielle située sur la commune de Gondrecourt-le-Château pour les besoins du CMHM (conservation d'échantillons géologiques et stocks de matériaux divers…). Il est possible que les fonctionnalités de cette plateforme évoluent dans le futur en fonction des activités exercées par l'Andra, relatives au projet global 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 mis en œuvre pour la construction des ouvrages du projet global Cigéo.

L'Andra intègre à l'ITE la plateforme logistique sur l'ancienne friche industrielle de Gondrecourt-le-Château, les voies ferrées de l'ITE et les équipements associés, les ouvrages de gestion des eaux pluviales, une piste de maintenance et tous les rétablissements. Elle constitue une zone d'intervention potentielle d'environ 121 hectares située à la fois en milieu urbanisé, sur le tracé de l'ancienne ligne et en milieu agricole.

LES PRINCIPAUX APPORTS DE LA CONCERTATION SUR L'ITE

La concertation post-débat public sur l'ITE a permis de choisir la solution technique de référence, de définir les rétablissements, d'adapter les dispositifs de gestion des eaux et de discuter de l'insertion paysagère.

Les principaux apports de la concertation à la définition de la solution de référence concernent :

- le rétablissement en place de la route départementale D32 ;
- la traversée de l'ancienne gare de Luméville-en-Ornois et l'évitement de la zone humide au nord de Luméville-en-Ornois ;
- l'absence de clôture le long de l'ITE et de barrières pour les passages à niveau (sept passages à niveau concernant des chemins ruraux et agricoles) ;
- le maintien de la plupart des traversées agricoles ;
- l'adaptation des dispositifs de gestion des eaux dans le secteur de Gillaumé et Cirfontaines-en-Ornois.

L'Andra prévoit de revenir vers les participants pour leur apporter des compléments d'information relatifs aux études supplémentaires qui seront menées.

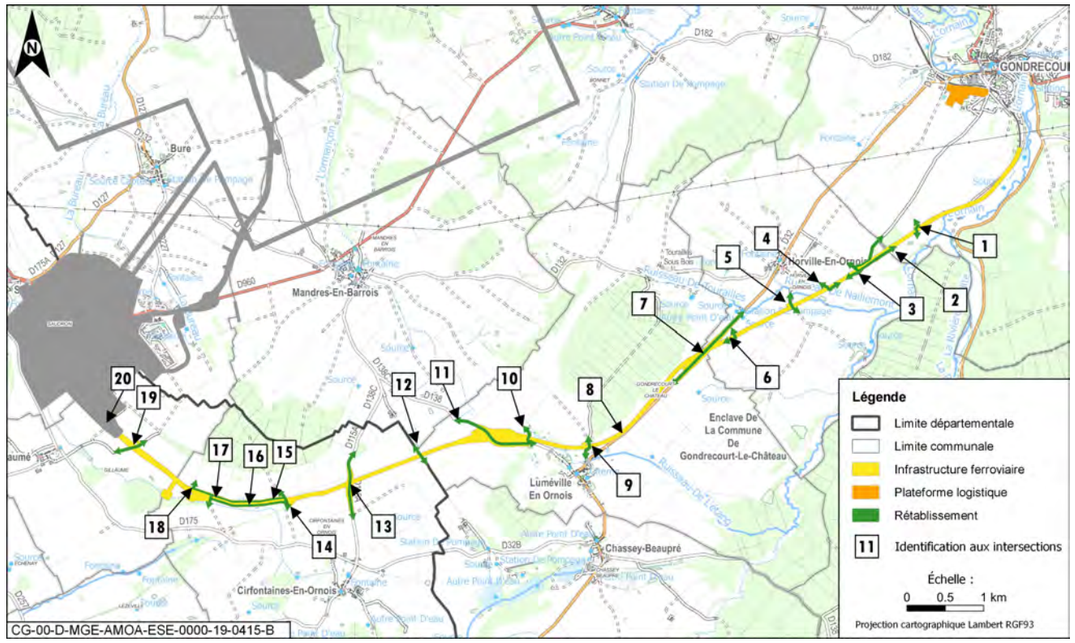


Figure 2-52 Zone d'intervention potentielle pour l'implantation de l'installation terminale embranchée

Synthèse des choix de localisation de l'installation terminale embranchée (ITE)

La volonté de réduire les nuisances à l'Homme et à l'environnement générées par les transports par camion et le respect de la volonté du territoire de favoriser le recours au transport ferroviaire ont conduit l'Andra à étudier la desserte ferroviaire du centre de stockage, notamment pour le transport et la livraison des colis de déchets radioactifs. Cet équipement ferroviaire, qui permet d'embrancher le centre de stockage Cigéo au réseau ferré national est dénommé « installation terminale embranchée » (ITE).

Afin de réduire la consommation de terres agricoles et d'éviter les impacts associés à la création d'une nouvelle ligne, l'Andra a cherché à réutiliser au maximum la plateforme de l'ancienne ligne ferroviaire reliant Joinville à Gondrecourt-le-Château. Elle permet de se connecter au niveau de Gondrecourt-le-Château à la ligne ferroviaire 027000 gérée par SNCF Réseau. Les études ont permis de valoriser 10 km de l'ancienne plateforme. Seuls 4 km de voie ferrée nouvelle sont à créer sur la fin du parcours. Le tracé de ces derniers kilomètres est très contraint par les altimétries de l'ancienne plateforme et de la zone descenderie à desservir.

Afin de recueillir les avis et recommandations des acteurs locaux sur la l'ITE, l'Andra a organisé plusieurs ateliers et échanges dans le cadre de sa concertation post-débat public. Ils ont permis de confirmer le choix du tracé et d'exprimer des préférences claires en matière de rétablissement routiers. Au final, l'Andra a retenu une implantation sur une surface de 121 hectares située sur le tracé de l'ancienne ligne et en milieu ouvert agricole. Elle inclut également une plateforme logistique appartenant à l'Andra valorisant une ancienne friche industrielle de Gondrecourt-le-Château.

2.4.2 Les choix d'implantation des autres opérations associées à la création du centre de stockage Cigéo

Les choix d'implantation des aménagements réalisés dans le cadre des autres opérations associées à la création du centre de stockage Cigéo sont étroitement liés aux choix d'implantation du centre de stockage Cigéo lui-même, ce dernier nécessitant :

- une alimentation électrique ;
- une alimentation en eau potable ;
- des dessertes routière et ferroviaire.

Les opérations du projet global liées à la construction et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo sont décrites au chapitre 3 du présent volume.

2.4.2.1 La démarche d'étude des variantes d'implantation des autres opérations

Le choix de la localisation précise des autres composantes du projet global Cigéo, relevant d'autres maîtres d'ouvrage, se poursuit actuellement et se poursuivra à l'avenir sur la base des mêmes critères que ceux retenus pour le centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 2.4.1.1 du présent volume).

En complément de l'examen des solutions de substitution raisonnables pour le centre de stockage (exposé au chapitre 2.4.1.1 du présent volume), des études de variantes ont été engagées ou vont l'être pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage du projet global. Ces études de variantes comportent une analyse comparative de leurs incidences sur l'environnement selon des critères identiques à ceux retenus pour le centre de stockage Cigéo (dont les enjeux de biodiversité).

Plus précisément, et en lien avec le pilotage par l'Andra de toutes les études des facteurs de l'environnement pour l'ensemble des opérations du projet global Cigéo, l'élaboration des variantes d'implantation des opérations des autres maîtres d'ouvrage repose sur une démarche progressive et appropriée de connaissance de l'état initial qui donne au stade du présent dossier un niveau de connaissance suffisant des enjeux environnementaux et de la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet global Cigéo :

- des données bibliographiques et de premières analyses de terrain ont permis d'identifier les enjeux environnementaux les plus importants dans une grande zone de recherche de variantes d'implantation, afin de concevoir ensuite des variantes de tracé ou d'implantation évitant autant que possible ces enjeux forts et très forts (telles que zones humides potentielles, corridors écologiques…). Cette recherche de variantes est en cours pour l'opération d'adduction d'eau, pour laquelle la marge de manœuvre pour concevoir des variantes par évitement est très significative puisque seules les sources d'alimentation et l'implantation du centre de stockage sont fixées ;
- la connaissance de l'état initial de l'environnement est ensuite complétée par des analyses de terrain plus précises (dont inventaires par groupes d'espèces, localisations des zones humides et des corridors écologiques avérés…) dans des fuseaux d'implantation de tracés potentiels ; il permet de comparer les impacts des différentes variantes et solutions de substitution ;
- enfin, la connaissance de l'état initial est encore détaillée dans la zone susceptible d'être affectée par la solution retenue après participation du public, pour chacune des opérations des autres maîtres d'ouvrage, par exemple des inventaires faunistiques et floristiques détaillés seront menés à une fréquence minimale de trois ans comme pour le centre de stockage Cigéo- ce complément de connaissance de l'état initial de l'environnement est en cours pour les opérations d'alimentation électrique, de déviation de la route départementale D60/960 et de mise à niveau de ligne ferroviaire 027000.

2.4.2.2 L'opération « alimentation électrique »

RTE (Réseau de transport d'électricité) est le maître d'ouvrage de l'opération « alimentation électrique » relative au raccordement du centre de stockage Cigéo au réseau électrique existant.

2.4.2.2.1 Le raccordement au réseau électrique

RTE a recherché des solutions techniques pour raccorder le centre de stockage Cigéo au réseau. Afin d'éviter la création de lignes aériennes supplémentaires qui impacteraient notamment le paysage, des solutions s'appuyant sur les lignes proches de la zone descenderie (Saudron) et de la zone puits (Mandres-en-Barrois) ont été étudiées. Cinq scénarios ont été comparés (cf. Figure 2-53 et figure 2-54) :

- trois scénarios de raccordement sur la ligne 225 kV Froncles-Epizon-Muremont située à environ 15 km au sud de Bure (cf. Figure 2-53) ;
  - ✓ scénario 1 : liaison électrique enterrée 225 kV et postes de livraison 225 kV sur l'emprise des zone descenderie et zone puits ;
  - ✓ scénario 2 : liaison électrique enterrée 225 kV jusqu'au poste de transformation 225/90 kV sur l'emprise de la zone descenderie et liaison électrique enterrée 90 kV jusqu'au poste de livraison électrique RTE sur l'emprise de la zone puits ;
  - ✓ scénario 3 : liaison électrique enterrée 90 kV depuis un poste de transformation 225 kV/90 kV au pied de la ligne 225 kV et postes de livraison 90 kV sur l'emprise des zones descenderie et zone puits ;
- deux scénarios de raccordement sur la ligne 400 kV Mery–Houdreville passant entre la zone descenderie et la zone puits (cf. Figure 2-54) ;
  - ✓ scénario 4 : liaison électrique enterrée 225 kV depuis un poste de transformation 400/225 kV au pied de la ligne 400 kV et postes de livraison 225 kV sur l'emprise des zones descenderie et zone puits ;
  - ✓ scénario 5 : liaison électrique enterrée 90 kV depuis un poste de transformation 400/90 kV au pied de la ligne 400 kV et postes de livraison 90 kV sur l'emprise des zone descenderie et zone puits.

Un sixième scénario de raccordement au poste de Revigny, situé à 45 kilomètres, a également été évoqué. Il n'a pas été approfondi en raison de son coût trop élevé.

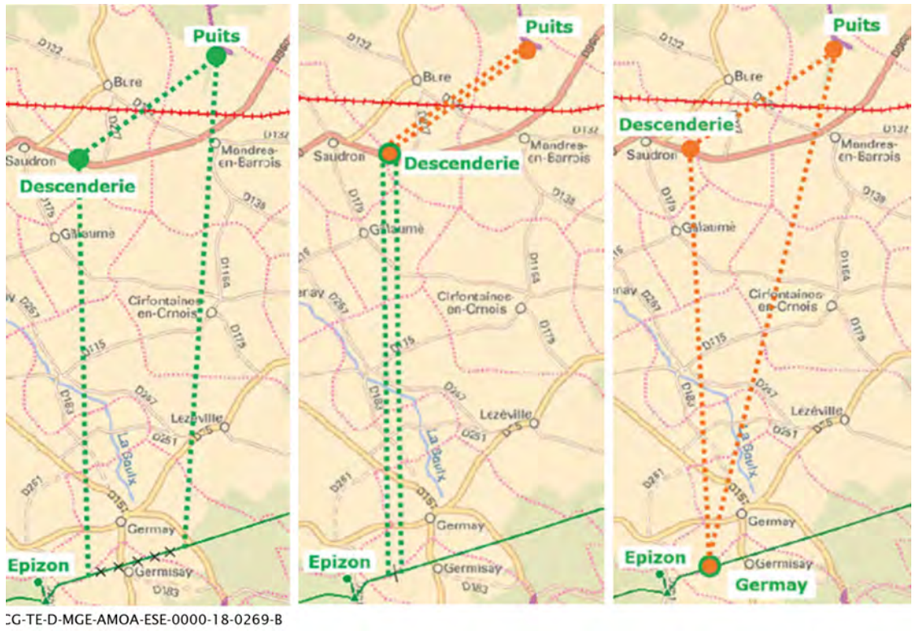


Figure 2-53 Scénarios 1 à 3 (de gauche à droite) : scénarios de raccordement sur la ligne 225 kV Froncles-Epizon-Muremont (rouge 400 kV, vert 225 kV, orange 90 kV)



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0270-B

Figure 2-54 Scénarios 4 (à gauche) et 5 (à droite) : scénarios de raccordement sur la ligne 400 kV Mery-Houdreville (rouge 400 kV, vert 225 kV, orange 90 kV)

Les scénarios 1 et 2 ont été écartés pour des problématiques techniques de surtensions mises en évidence lors de l'étude de faisabilité. Le scénario 4 a également été écarté en raison de son coût plus élevé et de son absence d'avantages par rapport au scénario 5.

L'analyse des scénarios 3 et 5 a conduit à préférer le scénario 5. Bien que plus coûteux en investissement, l'utilisation du réseau 400 kV permet de minimiser les pertes d'énergie liées au transport d'électricité. De plus, la longueur des liaisons enterrées 90 kV est nettement moins importante (une dizaine de kilomètres contre une trentaine pour le scénario 3). Les impacts sur l'environnement et les nuisances lors de leur réalisation sont donc moins importants.

Les équipements associés au scénario 5, de moindre impact environnemental, permettent de répondre à l'ensemble des besoins du projet de centre de stockage et pourraient également être utilisés, à terme, pour alimenter d'autres projets industriels éventuels dans le secteur.

2.4.2.2.2 La localisation du poste de transformation 400/90 kV sous la maîtrise d'ouvrage RTE

Le scénario retenu pour l'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo comporte un poste de transformation au pied de la ligne 400/90 kV. Des liaisons électriques enterrées de 90 kV relient ce poste à la zone descenderie et à la zone puits.

De 2014 à 2016, plusieurs réunions de concertation ont été organisées par la préfecture de la Meuse afin de présenter le projet et de préciser l'emplacement pour le poste de transformation 400/90 kV et pour le fuseau des liaisons enterrées. Ces réunions s'inscrivaient dans le cadre d'application de la circulaire relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité du 9 septembre 2002 dite « circulaire Fontaine » (105).

» LA CONCERTATION DANS LE CADRE DE LA CIRCULAIRE FONTAINE

Les fondements de la concertation sur les projets d'ouvrages électriques reposent sur la circulaire relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité signée, le 9 septembre 2002, par Mme Fontaine, ministre déléguée à l'Industrie (105).

La « concertation Fontaine » (106) concerne le développement du réseau public de transport mais également des projets d'ouvrages de réseaux publics de distribution de tension supérieure ou égale à 63 kilovolts. Réunissant les acteurs locaux sous l'égide du préfet, elle porte sur la définition de l'aire d'étude, puis sur la localisation de l'emplacement et des fuseaux de moindre impact.

La « concertation Fontaine » menée sur les projets d'ouvrages électriques pour le raccordement du centre de stockage Cigéo, a permis de définir des localisations privilégiées pour le poste de transformation et pour le fuseau des liaisons électriques enterrées. Les acteurs associés à cette concertation étaient les élus locaux, des associations (environnementales, pêche, chasse...), les chambres d'agricultures, les architectes des bâtiments de France, les conseils départementaux, les DDT, les chambres de l'industrie et du commerce, la DREAL, RTE et les gestionnaires et concessionnaires de réseaux, la gendarmerie nationale, la préfecture de la Meuse et l'Andra.

Les contraintes techniques d'implantation du poste de transformation 400/90 kV sont les suivantes :

- le poste doit occuper un emplacement contigu de la ligne 400 kV afin de limiter les longueurs de ligne aérienne à construire. Ceci réduit l'impact sur le paysage et les investissements ;
- il occupe une surface d'environ 400 m x 300 m (avec le petit côté du terrain parallèle à la ligne 400 kV). Cette surface prend en compte les dimensions du poste (de l'ordre de 300 m x 250 m), des aménagements paysagers et l'installation des pylônes de raccordement, à l'extérieur du poste, avec un recul d'environ 50 mètres de la ligne 400 kV.

Une première étape a permis d'identifier vingt-quatre scénarios d'implantation pour le poste compte tenu de ces contraintes. Ils sont représentés sur la , numérotés d'ouest en est et indicés : « N » pour nord et « S » pour sud.

Ces 24 emplacements, identifiés sur des critères techniques, ont ensuite été analysés en prenant en compte des critères d'insertion territoriale, environnementaux et relatifs à la sécurité :

- éliminer les emplacements comportant ou très proches des habitations ;
- favoriser les emplacements permettant d'éviter ou de réduire les impacts visuels et sonores ;
- exclure les positions nécessitant une dérivation d'un cours d'eau ;
- éviter les déviations d'infrastructures routières utilisées par les véhicules légers (routes goudronnées) ;
- éviter l'emprise de la liaison intersites ;
- éviter les positions jugées défavorables pour leur protection contre la malveillance.

L'analyse des emplacements tenant compte de ces critères a été versée au dossier support à la concertation dite « circulaire Fontaine » menée par le préfet de la Meuse. Les échanges durant cette concertation ont permis de retenir l'emplacement 5S. Cette décision a été notifiée dans un courrier adressé aux différents acteurs de cette concertation (107).

L'évolution de la législation opérée au second semestre 2016 par l'ordonnance n° 2016-1060 du 3 août 2016 portant réforme des procédures destinées à assurer l'information et la participation du public à l'élaboration de certaines décisions susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement (108), a abouti à la modification des dispositions concernant la concertation préalable et la procédure de participation du public facultative (articles L. 121-15 et suivants du code de l'environnement). Cette procédure de concertation permet de recueillir l'avis du public au-delà des acteurs concernés par la concertation dite « circulaire Fontaine » (105).

» LA CONCERTATION « PREALABLE » DU PUBLIC

Une ordonnance visant à renforcer l'information et la participation du public à l'élaboration de certaines décisions susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement a été adoptée, le 3 août 2016 (108), postérieurement à l'achèvement de la « concertation Fontaine » » menée sur les projets d'ouvrages électriques pour le centre de stockage Cigéo,

En 2018, RTE a saisi la Commission nationale du débat public (CNDP) afin de mettre en œuvre, pour les projets d'ouvrages électriques du centre de stockage Cigéo, la nouvelle procédure de concertation préalable, créée par l'ordonnance précitée. La nouvelle concertation « préalable » s'est déroulée sous l'égide d'un garant de la CNDP du 13 janvier au 12 février 2020.

En s'appuyant sur l'analyse des scénarios produites pour la concertation dites « circulaire Fontaine » et l'évolution des autres projets, en l'occurrence celui de la liaison intersites porté par l'Andra, RTE a retenu plusieurs emplacements soumis à cette concertation préalable. Ces cinq emplacements (3S, 5S, 6S, 7S, 8N et 10S représentés en rouge sur la) ont été choisis parmi les 24 initiaux.

Trois temps d'échanges ont été proposés au public pendant la concertation :

- le 13 janvier 2020, une réunion publique d'ouverture qui consiste en une présentation générale du projet suivie d'échanges avec le public ;
- le 28 janvier 2020, une visite sur le terrain des sites d'implantation potentielle du poste électrique ;
- le 12 février 2020, une réunion de clôture pour un premier bilan de la concertation dressé par RTE.

Un site internet spécifique à la concertation permettait également de prendre connaissance des documents supports aux échanges et d'y déposer des questions ou commentaires.

Le garant de la CNDP a remis son bilan le 13 mars 2020 (109). Il y indique notamment que le choix d'implantation du site du transformateur électrique était le sujet le plus souvent évoqué par les participants et que « *la préférence pour l'implantation 3S est apparue de manière unanime chez ceux qui se sont exprimés* ». Le garant invite par ailleurs RTE à présenter au public sa décision post-concertation préalable, et à maintenir l'information du public pour toutes les phases du projet à venir.

En mai 2020, RTE précise les suites données à la concertation préalable relative au raccordement des installations et ouvrages du projet global Cigéo (110). RTE propose de retenir l'emplacement 3S privilégié par les participants à la concertation préalable. Ce choix a été entériné par la préfète de la Meuse le 24 février 2022.

RTE s'engage également à poursuivre la concertation, sur différents thèmes : la localisation technique du projet, l'intégration paysagère du poste, la définition précise du tracé au sein du fuseau, l'organisation des modalités du chantier. Outre le maintien du site internet dédié au projet, RTE propose par ailleurs deux temps de partage, en amont de l'enquête publique et en amont du chantier.

Le processus d'implantation du poste doit se poursuivre suite à cette dernière phase de concertation, la solution technique définitive devra faire l'objet d'approfondissement des études puis d'une actualisation de la présente étude d'impact.

2.4.2.2.3 Le positionnement des liaisons électriques enterrées

Le choix de liaisons électriques enterrées 90 kV et non de lignes aériennes pour le raccordement électrique du poste de transformation 400/90 kV au centre de stockage Cigéo constitue une première mesure environnementale forte d'évitement d'impact. En effet, les liaisons enterrées évitent l'impact paysager des lignes aériennes. Seul le chantier de leur construction a un impact temporaire sur le paysage et les activités agricoles. De plus, par rapport à des lignes aériennes, elles réduisent l'impact sur le foncier et les pratiques agricoles puisqu'elles ne nécessitent pas de pylônes. L'exploitation agricole au-dessus des lignes enterrées est possible.

Afin de garantir le bon fonctionnement des installations du centre de stockage Cigéo, son approvisionnement électrique à la puissance nominale doit être garanti. En cas d'indisponibilité d'une des liaisons électriques enterrées (du poste de transformation vers la zone descenderie ou de la zone puits), il doit être possible de réalimenter la zone impactée au moyen du poste de l'autre zone. Pour cela, les liaisons électriques sont bouclées, ce qui permet une redondance des alimentations électriques. La liaison électrique redondante est implantée en parallèle des lignes principales pour réduire l'impact de ses travaux de construction et les coûts.

Un fuseau d'étude a été identifié entre les emplacements possibles des postes et les installations du centre de stockage Cigéo pour y définir le tracé des liaisons électriques enterrées. La zone d'étude d'implantation des liaisons électriques enterrées est située sur le plateau agricole (cf. Figure 2-56) et comporte peu d'enjeux environnementaux.

Les critères environnementaux à retenir pour le tracé des liaisons électriques viseront principalement à réduire les nuisances pour les riverains en phase travaux et à limiter les impacts sur le milieu naturel en évitant les milieux naturels à enjeux (boisements, prairies, abords des cours d'eau).

Le tracé des liaisons électriques fera l'objet d'une concertation menée par RTE. La solution retenue fera l'objet d'un approfondissement des études et d'une actualisation de l'étude d'impact du projet global Cigéo.

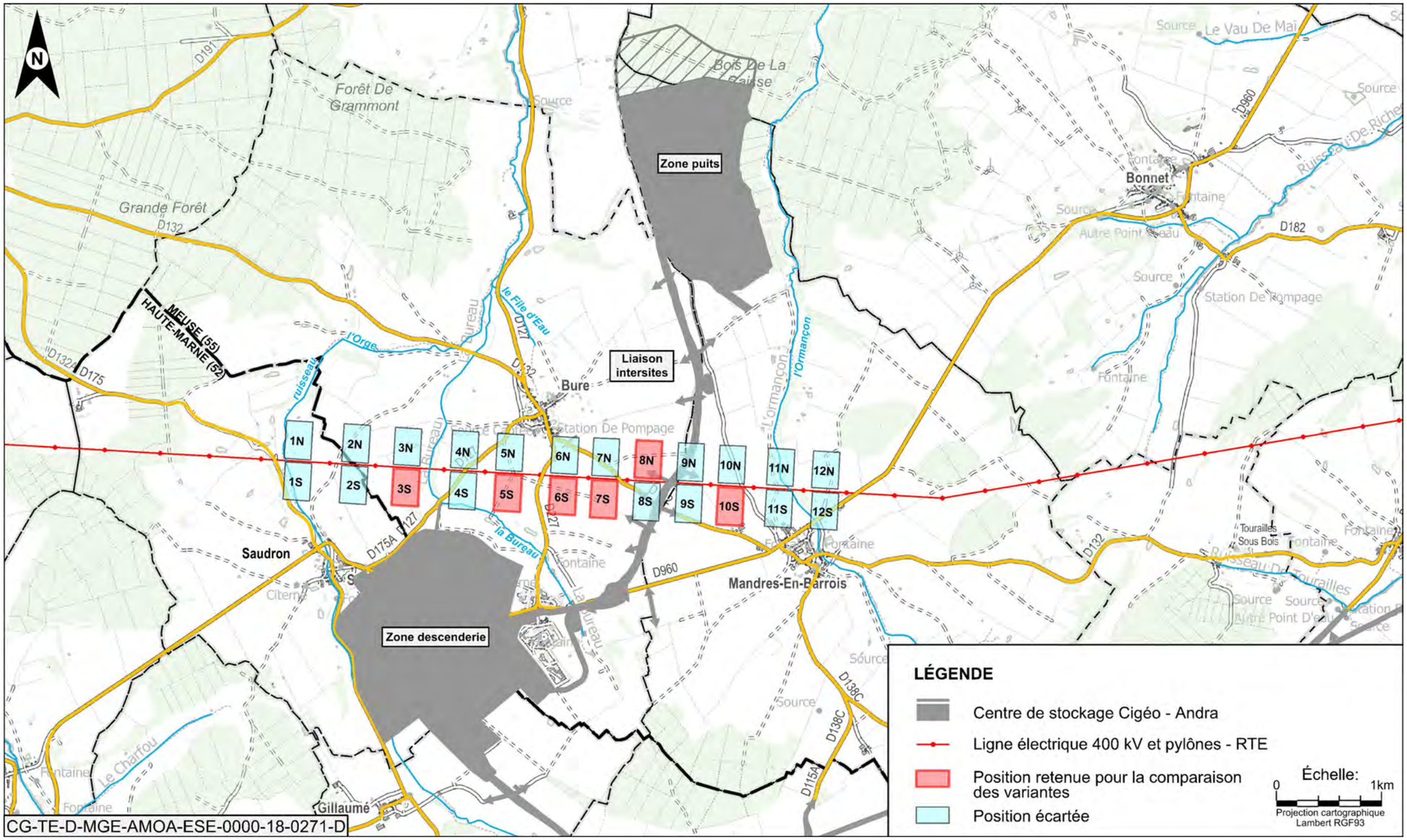


Figure 2-55 *Localisation des 24 emplacementsproposés par RTE pour l'implantation du poste 400/90 kV*

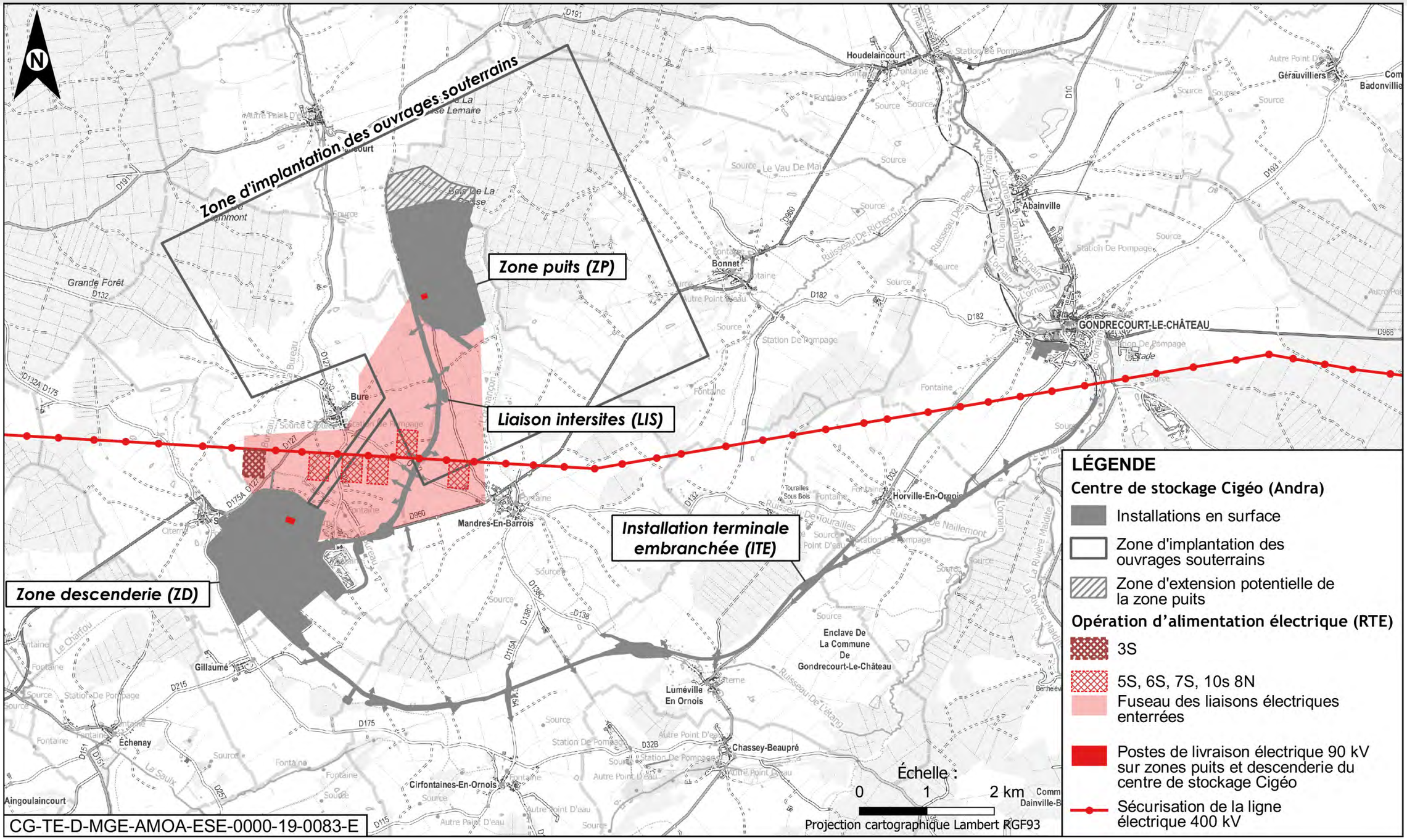


Figure 2-56 Plan de localisation des installations d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo

2.4.2.3 L'opération « adduction d'eau »

Les syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain assurent la maîtrise d'ouvrage des études et travaux de l'opération « adduction d'eau » relative au raccordement du centre de stockage Cigéo au réseau d'adduction en eau potable existant.

La solution technique d'adduction d'eau privilégiée est l'alimentation depuis les captages de Thonnance-lès-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-le-Château, compte tenu de leur productivité et de leur statut de protection (cf. Chapitre 2.5.3.3 du présent volume).

Les principales contraintes techniques, environnementales et réglementaires pour implanter les ouvrages nécessaires à l'adduction d'eau (canalisations, ouvrages de relevage, bassins…) sont les suivantes :

- éviter les espaces naturels à enjeux (zones humides, espaces boisés…) ;
- réduire les nuisances à la population liés au chantier et aux servitudes ;
- prendre en compte la topographie, les dénivelés et les cours d'eau à franchir.

Les tracés des solutions de raccordement aux captages seront déterminés après participation du public à l'élaboration du projet lors de concertations ultérieures. La solution retenue fera l'objet d'un approfondissement des études et d'une actualisation de la présente étude d'impact.

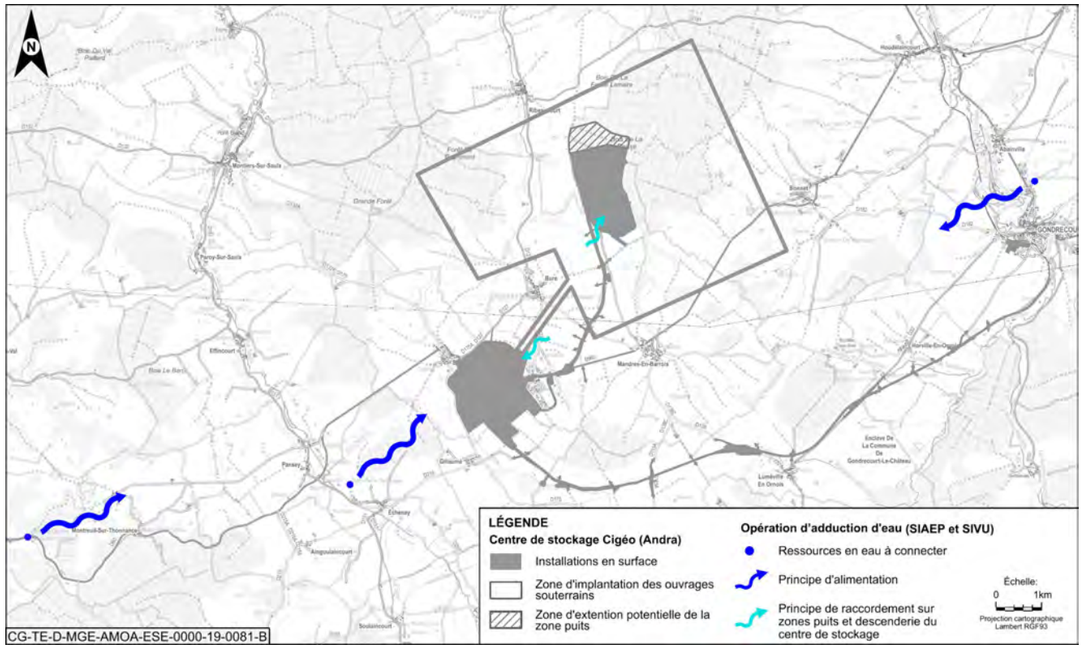


Figure 2-57 Adduction d'eau - principes de raccordement envisagés

2.4.2.4 L'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 »

SNCF réseau est le maître d'ouvrage de l'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 » relative aux travaux de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 du réseau ferré national pour la connecter ensuite à l'installation terminale embranchée (ITE) du centre du centre de stockage Cigéo.

Cette ligne ferroviaire 027000, située entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château, relie l'ITE du centre de stockage Cigéo à la ligne Paris-Strasbourg. Pour ce faire elle doit être remise en fonctionnement car elle est fermée à la circulation ferroviaire depuis 2014.

Le tronçon situé entre Nançois-Tronville et Ligny-en-Barrois (environ 3 km) a été réhabilité *a minima* pour permettre une réouverture partielle à la circulation de convoi ferroviaire jusqu'aux silos de Ligny-en-Barrois. La poursuite de l'exploitation de ce tronçon nécessite la réalisation de nouveaux travaux de régénération de certains équipements (traverses, rails) de la ligne. Les financements nécessaires à ces travaux n'étant pas actuellement disponibles, ce tronçon est fermé depuis décembre 2019.

2.4.2.4.1 L'étude exploratoire de la desserte ferroviaire du centre de stockage Cigéo

En amont du débat public du projet global Cigéo de 2013, une étude exploratoire de la desserte ferroviaire du centre de stockage Cigéo a été réalisée sous l'égide des producteurs de déchets (2012/2013). Cette étude a identifié et analysé des scénarios pour la livraison des colis de déchets depuis les entreposages des producteurs jusqu'au centre de stockage Cigéo.

Deux types de scénarios étaient analysés, soit « tout ferroviaire », sans rupture de charge, jusqu'à un centre de stockage Cigéo embranché, soit « mixte routier/ferroviaire », avec rupture de charge, jusqu'à un centre de stockage Cigéo non embranché.

Cette étude s'est appuyée sur les lignes du réseau ferroviaire national (RFN) situées autour du projet de centre de stockage Cigéo, à savoir :

- la ligne voyageurs et fret entre Saint-Dizier (dép. 52) et Chaumont (dép. 52) ;
- la ligne fret entre Nançois-Tronville (dép. 55) et Gondrecourt-le-Château (dép. 55) ;
- la ligne voyageur et fret entre Paris (dép. 75) et Strasbourg (dép. 67) ;
- la ligne fret entre Neufchâteau (dép. 88) et Rimaucourt (dép. 52).

Parallèlement, le territoire a mené des réflexions sur les aménagements routiers.

À partir de ces études, sept scénarios de desserte ont été étudiés :

- trois scénarios sans rupture de charge :
  - ✓ scénario 1 : depuis la ligne Saint-Dizier/Chaumont, création d'une ITE de l'ordre de 28 km de longueur s'appuyant en grande partie sur une ancienne plateforme ferroviaire ;
  - ✓ scénario 3 : depuis la ligne Nançois-Tronville/Gondrecourt-le-Château, création d'une ITE de l'ordre de 14 km de longueur s'appuyant en grande partie sur une ancienne plateforme ferroviaire ;
  - ✓ scénario 5 : depuis les lignes Saint-Dizier/Chaumont et Nançois-Tronville/Gondrecourt-le-Château, création d'une ITE de l'ordre de 42 km s'appuyant en grande partie sur une ancienne plateforme ferroviaire ;
- quatre scénarios avec rupture de charge :
  - ✓ scénario 2 : depuis la ligne Saint-Dizier/Chaumont, création d'une aire de transbordement à proximité de Joinville (dép. 52) impliquant une desserte routière jusqu'au centre de stockage Cigéo d'environ 25 km de distance ;
  - ✓ scénario 4 : depuis la ligne Nançois-Tronville/Gondrecourt-le-Château, création d'une aire de transbordement à proximité d'Houdelaincourt (dép. 55) impliquant une desserte routière jusqu'au centre de stockage Cigéo d'environ 10 km de distance ;
  - ✓ scénario 6 : depuis la ligne Neufchâteau/Rimaucourt, création d'une aire de transbordement à proximité de Rimaucourt (dép. 52) impliquant une desserte routière jusqu'au centre de stockage Cigéo d'environ 30 km de distance ;
  - ✓ scénario 7 : depuis la ligne Paris/Strasbourg, création d'une aire de transbordement à proximité de Sorcy-Saint Martin (dép. 55) impliquant une desserte routière jusqu'au centre de stockage Cigéo d'environ 40 km de distance.

L'analyse de cette étude exploratoire intégrant des aspects sûreté, environnemental, foncier, coût, exploitation, impacts sur les infrastructures existantes et délai, a fait ressortir le scénario 3 comme celui étant le plus favorable. Ce scénario est d'autant plus avantageux qu'il s'appuie sur une ligne ferroviaire existante exclusivement dédiée au fret qui permet un embranchement aisé du centre de stockage Cigéo.

Parmi ces sept scénarios, les trois scénarios les plus favorables, les scénarios 2, 3 et 4, ont été présentés dans le Schéma interdépartemental du développement du territoire (SIDT) support au débat public relatif au centre de stockage Cigéo de 2013. Le scénario 3 a été favorisé par le public qui souhaite limiter le trafic de camions sur les routes départementales.

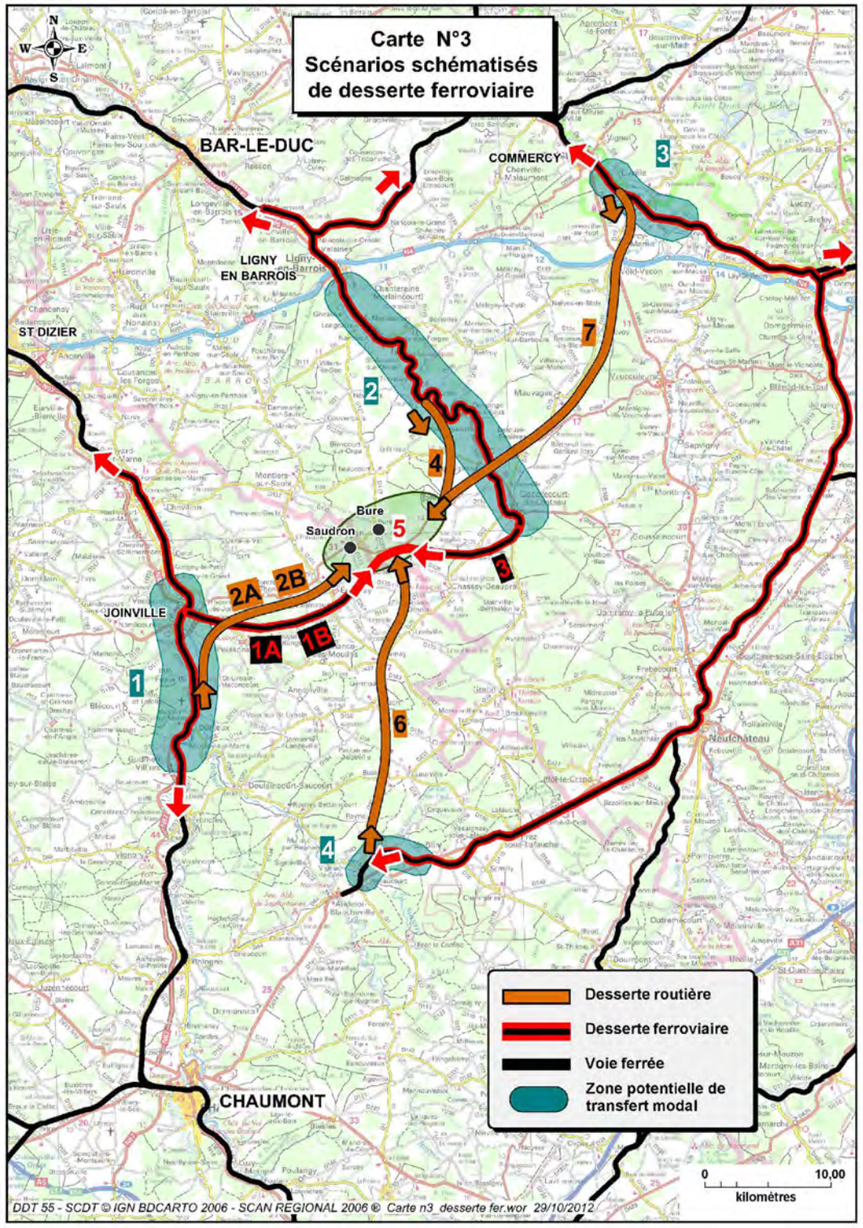


Figure 2-58 Desserte du Centre de stockage - Extrait du SIDT présenté au débat public « Cigéo » de 2013

LES APPORT DU DEBAT PUBLIC

Lors du débat public de 2013, ces trois scénarios ont été présentés, ainsi que la position favorable de l'Andra pour le scénario 3 évitant les ruptures de charge.

Le public a clairement fait ressortir sa préférence pour le scénario 3.

L'Andra a donc poursuivi les études afin de permettre la mise en œuvre de ce scénario 3, à savoir :

- la réhabilitation de la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château (cf. Chapitre 2.4.2.4 du présent volume) ;
- la conception de l'installation terminale embranchée dite ITE (cf. Chapitre 3.2.7 du présent volume), reliant le centre de stockage Cigéo à la ligne ferroviaire 027000.

La concertation se poursuit sur l'opération de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000. Après une amorce par une conférence sur le transport ferroviaire de déchets radioactifs, dans le cadre de la concertation post-débat public sur le centre de stockage Cigéo, ayant eu lieu à Ligny-en-Barrois en 2018, SNCF Réseau organise une concertation préalable du 3 mai au 28 juin 2021 sous l'égide des garants de la CNDP (111). Elle est l'occasion d'échanger avec le public sur les travaux, la sécurité ou encore les aménagements.

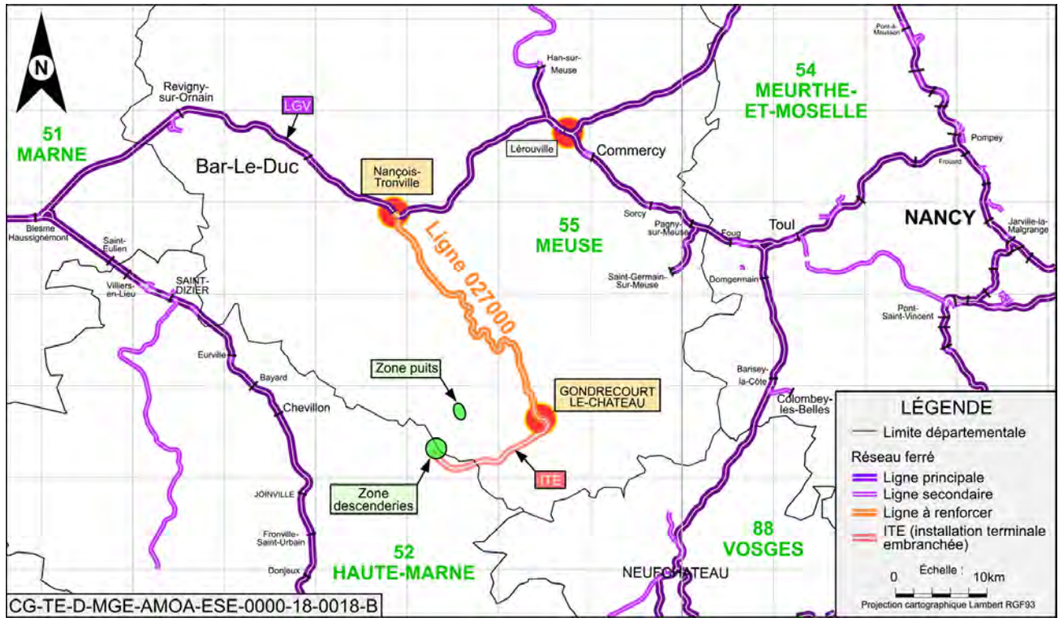


Figure 2-59 Ligne 027000 entre l''ITE et le réseau ferré national

2.4.2.4.2 La concertation préalable relative à la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 du réseau ferré national (ligne fret entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château)

Après une amorce par une conférence sur le thème du transport ferroviaire de déchets radioactifs, proposée à Ligny-en-Barrois en 2018 dans le cadre de la concertation post-débat public sur le centre de stockage Cigéo, SNCF Réseau a organisé une concertation préalable sur la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 du réseau ferré national (ligne fret entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château) du 3 mai au 28 juin 2021. Elle s'est tenue sous l'égide de deux garants, M. Jean-Daniel Vazelle et M. Luc Martin (112).

Cette concertation a été l'occasion pour SNCF Réseau d'échanger avec le public sur les travaux, la sécurité ou encore les aménagements à prévoir. Pour rappel, ces travaux de modernisation permettront d'acheminer les matériaux de construction du centre de stockage Cigéo, puis les déchets radioactifs en phase de fonctionnement.

Le public a été invité à s'exprimer sur le projet en ligne *via* une page internet dédiée sur le site de SNCF Réseau et à travers différentes modalités d'échanges notamment un coupon T, des registres publics en mairie ou encore un sondage téléphonique mené dans les 16 communes définies dans le périmètre de la concertation.

Au-delà de ces modalités et pour permettre des échanges larges et ouverts, huit réunions et ateliers ont permis aux riverains de s'informer et participer :

- une réunion d'ouverture, le mardi 4 mai 2021 ;
- un atelier thématique sur la « sécurité », le mardi 11 mai 2021 ;
- un atelier sur les « travaux », le jeudi 20 mai 2021 ;
- un atelier « aménagements secteur nord » proposé deux fois dans la journée, le jeudi 10 juin 2021 à Ligny-en-Barrois ;
- un atelier « aménagement secteur sud » proposé deux fois dans la journée, le mardi 15 juin 2021 à Gondrecourt-le-Château ;
- une réunion bilan, le lundi 28 juin 2021.

Compte-tenu du contexte sanitaire, les trois premiers rendez-vous se sont déroulés en visioconférence, puis profitant de l'assouplissement des règles sanitaires la suite des ateliers se sont tenues en présentiel.

Les garants ont remis leur bilan le 28 juillet 2021 (112).

» LES ENSEIGNEMENTS DE LA CONCERTATION PRÉALABLE

En septembre 2021, SNCF Réseau a remis son bilan (113) et indique retenir quatre enseignements majeurs :

- la participation ainsi que la teneur des contributions ont révélé un niveau d'intérêt relativement faible pour le projet ;
- le sujet de préoccupation majeur pour les participants est la sécurité et la sûreté ;
- la suppression d'un nombre élevé de passages à niveau (*a minima* 22 sur 59) ne suscite pas d'opposition de principe ;

une attente forte de poursuivre le dialogue avec l'ensemble des acteurs du territoire (élus, habitants, acteurs socio-économiques, gestionnaires de voiries, etc.)

» LES SUITES DONNÉES À LA CONCERTATION PRÉALABLE SUR LA MISE À NIVEAU DE LA LIGNE FERROVIAIRE 027000 DU RÉSEAU FERRÉ NATIONAL

Suite à la concertation préalable, SNCF Réseau s'engage à :

- maintenir le dialogue avec le territoire :

  À travers le maintien de l'ouverture de l'adresse mail contact du projet global Cigéo utilisée lors de la concertation, l'organisation de réunions techniques et d'informations avec les acteurs du territoire et la mise en place d'un comité de suivi du projet ;
- optimiser les aménagements de la ligne afin d'améliorer son insertion territoriale :

En renforçant les dispositifs de séparation de la ligne en zone habitée pour une bonne sécurité des riverains et des tiers, en concevant des aménagements et ouvrages adaptés aux circulations et en travaillant de concert avec les élus locaux pour trouver des synergies.

2.4.2.5 L'opération « déviation de la route départementale D60/960 »

Le Conseil départemental de la Haute-Marne est le maître d'ouvrage de l'opération « déviation de la route départementale D60/960 » relative aux travaux de déviation de la route départementale D60/960 en vue de contourner la zone descenderie du centre de stockage Cigéo.

Compte tenu des critères retenus pour la protection de l'environnement, du public et des installations, les études d'aménagement du centre de stockage Cigéo montrent la nécessité de dévier partiellement la route départementale D60/960 pour déployer les installations de la zone descenderie, notamment la zone des utilités au nord du bâtiment nucléaire EP1 (cf. Chapitre 3.2.3.5 du présent volume).

Trois variantes possibles de contournement sont identifiées.

Les contraintes de conception de cette déviation sont les suivantes :

- maintenir un niveau de service et de sécurité équivalent à celui de la route départementale D 60/ 960 existante (maintien de la desserte de Saudron, route à grande circulation (RGC), largeur de voie, vitesse de circulation…) tout en prenant en compte les trafics générés par le projet global Cigéo ;
- limiter les impacts environnementaux en :
  - ✓ évitant les zones naturelles à enjeu écologique (zones humides, espaces boisés…) ;
  - ✓ en optimisant la longueur du tracé pour réduire les impacts sur les terres agricoles ;
  - ✓ en s'éloignant des communes pour limiter les nuisances ;
  - ✓ en respectant les périmètres de protection éloignés et rapprochés des captages et des cours d'eau ;
- réduire les longueurs de voirie pour limiter les temps de parcours et les coûts d'infrastructures.

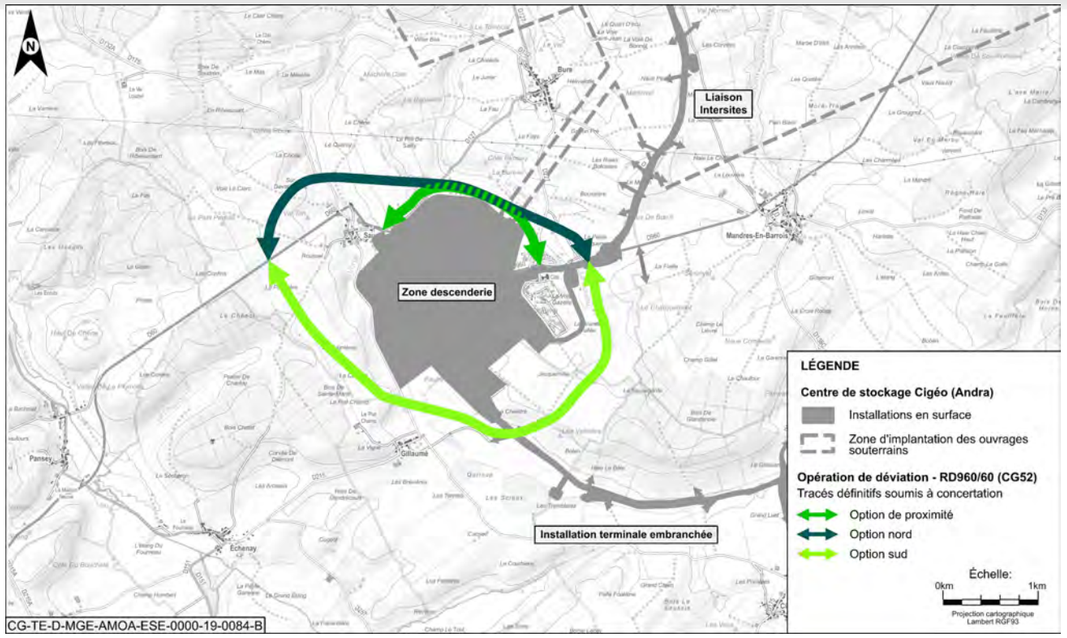


Figure 2-60 Opération de déviation de la route départementale D60/960-solutions soumises à concertation

Une concertation préalable sur les variantes de tracés possibles (cf. Tracés présentés au chapitre 3.3.4 du présent volume) a été menée par le Conseil départemental de Haute-Marne du 31 janvier au 11 mars 2022 pour laquelle Marie-Line Meaux et Ludovic Schneider ont été désignés garants (114). Le bilan de la concertation a été publié le 11 avril 2022 (115)

Pour plus d'informations : https://haute-marne.fr/fr/deviation-rd-60-960/

La solution retenue au terme de cette concertation fera l'objet d'un approfondissement des études techniques et d'une actualisation de la présente étude d'impact.

» LES SUITES DONNÉES À LA CONCERTATION PRÉALABLE SUR LE PROJET DE DEVIATION DES ROUTES DEPARTEMENTALES D60 ET D960

Le bilan de la concertation préalable a été publié par la Conseil Départemental de la Haute-Marne le 20 mai 2022 (116). Le département considère que les objectifs de la concertation sont atteints, et ce en dépit des difficultés rencontrées avec deux rencontres perturbées et interrompues. Dans ce contexte le département s'est efforcé d'encourager la participation du public au travers d'autres moyens et a tenu à maintenir des modalités en présentiel.

L'option 3 (contournement par le sud) est abandonnée. Le Conseil départemental s'engage à poursuivre les études sur les options nord. L'option 1 reste à ce stade l'option de référence, l'essentiel des échanges lors des rencontres ou dans les contributions s'étant concentré sur cette option considérée plus pratique, avec moins d'impacts sur le foncier et un coût moins important. Le Conseil départemental reviendra vers le public pour présenter les résultats de l'examen des options de tracé, et ce en amont de la délibération des assemblées départementales de Haute-Marne et de Meuse pour acter le tracé retenu.

2.4.2.6 L'opération « expédition et transport des colis de déchets radioactifs »

L'expédition et le transport des colis de déchets radioactifs des lieux de production jusqu'au centre de stockage Cigéo relève de la responsabilité des producteurs de déchets. Ces activités sont regroupées sous l'opération « expédition et transport des colis de déchets radioactifs ».

La règlementation relative au transport de substances radioactives est élaborée au niveau international par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). En France, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est responsable du contrôle de la sûreté des transports de substances radioactives pour les usages civils. Le Haut Fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère en charge de l'écologie, du développement durable et de l'énergie est responsable de la sécurité des transports sensibles (protection physique des transports).

Les colis de déchets destinés à être stockés dans le centre de stockage Cigéo seront expédiés depuis les sites d'entreposage des producteurs. Ils peuvent être situés à plusieurs centaines de kilomètres du centre de stockage Cigéo :

- le site EDF de la centrale de Bugey (département de l'Ain) ;
- les installations d'Orano du site de La Hague (département de la Manche) ;
- les installations CEA situées sur les centres de Marcoule, de Cadarache et de Valduc (départements du Gard, des Bouches-du-Rhône et de la Côte d'Or).

La très grande majorité des transports de colis de déchets radioactifs jusqu'au centre de stockage Cigéo sont prévus par voie ferroviaire. Ce choix apporte une réponse positive à une demande du territoire exprimée lors du débat public de 2013.

Il repose aussi sur des considérations pratiques : la plupart des sites de production des déchets radioactifs sont raccordés au réseau ferré national et déjà dotés des infrastructures nécessaires de manutention. De plus, le transport ferroviaire est le mode privilégié pour le transport des matières et déchets radioactifs, du fait notamment de la masse importante des emballages de déchets. Du point de vue des risques d'exposition radiologique, le transport par la route et par train sont équivalents. Toutefois, les transports routiers sur la voie publique peuvent générer, en fonction de leur nombre, des nuisances spécifiques d'où le choix retenu de privilégier le transport ferroviaire.

Enfin, ce choix permet de réduire de 22 % les consommations énergétiques que l'on aurait observées si l'on avait essentiellement recouru aux infrastructures routières existantes pour assurer les déplacements générés par le centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 12.9.2 du volume IV de la présente étude d'impact).

Néanmoins, une petite partie des colis de déchets radioactifs arriveront sur le site du centre de stockage Cigéo par camions. En effet, concernant les expéditions des colis de déchets depuis le centre de Valduc (CEA), non embranché au réseau ferré national et situé à environ 150 km par la route du centre de stockage Cigéo, le mode d'expédition préférentiel sera par voie routière. Compte tenu du faible nombre de colis de déchets à transporter en provenance du centre de Valduc (une centaine de camions sur toute la durée de fonctionnement du centre de stockage Cigéo), il ne semble pas justifié du point de vue environnemental de créer de nouvelles infrastructures pour permettre leur livraison par convois ferroviaires.

Le choix du transport ferroviaire comme mode privilégié d'acheminement des colis de déchets radioactifs sur le centre de stockage Cigéo implique la mise à niveau de la ligne 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château (sous maîtrise d'ouvrage de SNCF Réseau – cf. Chapitre 3.3.3 du présent volume), et la création d'une Installation terminale embranchée (ITE) entre Gondrecourt-le-Château et la zone descenderie (sous maîtrise d'ouvrage de l'Andra – cf. Chapitre 3.2.7 du présent volume).

Les illustrations des cheminements des colis est présenté dans la figure 2-61 ci-dessous. Pour information, les liens vers les sites internet des installations d'expédition sont présentés dans le tableau 2-7.



Figure 2-61 *Illustration de l'acheminement des colis de déchets radioactifs vers le centre de stockage Cigéo*

Tableau 2-7 *Liens internet présentant des informations sur les installations des sites des producteurs*

Installations des producteurs	Informations générales	Rapport transparence et sécurité nucléaire
Orano – La Hague	https://www.orano.group/fr https://www.orano.group/fr/l-expertise-nucleaire/tour-des-implantations/recyclage-du-combustible-use/la-hague	Rapport d'information du site de la Hague (117)
EDF – Bugey de l'opération « ICEDA »	Commission locale d'information du CNPE (118) (slides 41 à 61 en particulier) La centrale de Bugey (119)	Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Bugey (120)
CEA - Cadarache	https://cadarache.cea.fr/cad	Rapport Transparence et Sécurité Nucléaire du CEA Cadarache (121)
CEA - Marcoule	https://www.cea.fr/marcoule	Rapport transparence et sécurité nucléaire : INB exploitées par le CEA Marcoule (122)
CEA - Valduc	http://www-dam.cea.fr/	Cette installation n'est pas une installation civile (INB). Elle n'est pas soumise aux exigences d'information du public des articles L 125-12 à L. 125-16-1 du code de l'environnement en matière de transparence et de sûreté nucléaire

Pour les premières années de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, aucune modification des installations d'expédition existantes des producteurs n'est requise.

L'article D. 542-93 du code de l'environnement impose aux producteurs de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue de travailler, en lien avec l'Andra, à la définition d'un schéma logistique optimisé pour la livraison des colis. Ainsi, dans le cadre de leurs travaux, ils étudient les modalités de transport des colis de déchets HA et MA-VL jusqu'au centre de stockage Cigéo. Les scénarios des producteurs prennent en compte les distances à parcourir, les infrastructures existantes, la sécurité publique, la masse des colis, le nombre de manipulations nécessaires et les risques potentiels associés. Tous les moyens de transport (rail, route, fluvial) et leurs combinaisons sont abordés, sachant que, pour l'arrivée sur le centre de stockage, les colis peuvent être reçus par la route ou par voie ferroviaire, mais que la livraison par voie ferroviaire est privilégiée pour réduire les risques, les impacts et les nuisances (cf. Chapitre 2.5.3.6 du présent volume). La livraison par camion est possible, mais doit être justifiée et limitée.

Les producteurs ont transmis en janvier 2018 un rapport intitulé « *Transport des colis de déchets HA-MA-VL depuis les sites expéditeurs vers Cigéo – PNGMDR 2016-2018* » (123) présentant l'état actuel de leurs études[127]. Les producteurs y concluent que le choix définitif des scénarios de transport de référence au départ des sites n'interviendra qu'après le résultat des études de faisabilité complémentaires en cours, le remontage global des coûts et la décision d'engager ou non les investissements pour les phases de conception et de réalisation des infrastructures et des emballages, en lien avec le planning directeur du centre de stockage Cigéo, conformément aux engagements et moyens des exploitants. De plus, ils considèrent que le retour d'expérience dont ils disposent, en lien avec leurs partenaires habituels, démontre une maîtrise technique du transport de tous les types de colis de déchets qui sont destinés au centre de stockage Cigéo, et permettra d'apporter les garanties suffisantes pour proposer des solutions adaptées aux futurs transports.

Les études de scénarios de transport sont par ailleurs amenées à être renouvelées périodiquement sur la durée de fonctionnement séculaire du centre de stockage Cigéo. Le choix des scénarios d'acheminement prendra en compte les impacts environnementaux potentiels, y compris liés à l'aménagement ou à la création d'installation

[127] Rapport transmis en réponse à l'article 54 de l'arrêté du 23 février 2017 (pris en application du décret PNGMDR (124)).

intermédiaires de transbordement pour le passage d'un mode de transport à un autre. Dans l'hypothèse où s'avèreraient nécessaire une adaptation ou une extension des installations d'expédition, ou la création d'installations de transbordement, l'étude d'impact du projet global Cigéo serait actualisée préalablement aux demandes d'autorisation de cette adaptation, extension ou création.

En fonction des chroniques d'expédition des colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo et des études des producteurs relatives à l'utilisation de potentiels nouveaux emballages de transport, des adaptations de ces installations, voire la création de nouvelles installations sur les sites existants des producteurs de déchets pourraient être nécessaires.

L'opération d'expédition et de transport des colis de déchets radioactifs est décrite au chapitre 3.3.5 du présent volume du projet global Cigéo.

LES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT ENVISAGEABLES POUR LE TRANSPORT DES COLIS DE DÉCHETS RADIOACTIFS

Le transport fluvial offre des perspectives intéressantes en raison du grand nombre de colis de déchets qui peuvent être embarqués sur un même bateau. Ce mode de transport ne permet toutefois pas l'acheminement des colis de déchets jusqu'au centre de stockage Cigéo et impose plusieurs opérations de chargement/déchargement qui présentent des risques et sont sources de délais et de coûts.

Le transport par la route permet une grande flexibilité logistique. Cependant, le nombre de colis transporté par camion est restreint, compte tenu du poids et des dimensions des emballages de transport. Bien que soumis à des règles spécifiques de circulation et de stationnement, le transport routier comporte des risques en raison des interactions possibles avec la circulation des autres usagers. Il n'est justifié que pour des distances relativement courtes et pour des centres d'expédition ne disposant pas d'un embranchement sur le réseau ferroviaire. Ce mode de transport sera autant que possible limité.

Le transport ferroviaire est déjà très utilisé pour le transport de colis de déchets radioactifs en particulier par Orano *via* le terminal ferroviaire de Valognes, près de l'usine de retraitement des combustibles de La Hague. Il est le mode de transport le plus sûr et le moins impactant pour l'environnement. Plusieurs emballages de transport peuvent être transportés par un même convoi ferroviaire. L'usage du rail est donc privilégié par rapport au transport routier dès lors que la liaison ferroviaire est disponible.

2.4.2.7 Les opérations de « caractérisation et surveillance environnementale »

Pendant toutes les phases de déploiement du centre de stockage Cigéo (aménagements préalables, construction initiale, fonctionnement, démantèlement et fermeture, surveillance – cf. Chapitre 4 du présent volume), l'Andra sera amenée à réaliser des activités de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales prescrites. L'ensemble de ces activités, ainsi que les ouvrages et équipements associés, sont regroupés et identifiés au sein du projet global Cigéo dans des opérations dénommées « caractérisation et surveillance environnementales ».

Certaines de ces activités de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales sont menées sur les emprises du centre de stockage. D'autres doivent être menées hors emprises du centre de stockage Cigéo Elles sont complémentaires des investigations et des mesures réalisées à l'intérieur des emprises du centre de stockage Cigéo. Elles font partie du projet global Cigéo. La localisation de ces activités et l'implantation des dispositifs de mesures associés ne peut pas encore être connues à ce stade.

Les activités de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales feront l'objet d'actualisations et seront détaillées dans les processus d'autorisations réglementaires adaptés à leur nature, à leur positionnement (dans ou hors du périmètre de l'installation nucléaire de base) et à leurs incidences potentielles sur l'environnement. Notons toutefois que la démarche « éviter, réduire, compenser » sera mise en œuvre lors de la réalisation des choix d'implantation associés à cette opération.

LES CARACTERISATIONS GEOLOGIQUES

Les caractérisations incluent des études de terrain, du type des campagnes de forages menées depuis 1994, pour caractériser et comprendre le milieu géologique et évaluer la capacité du sous-sol, et notamment de la formation argileuse du Callovo-Oxfordien, à accueillir un stockage de déchets radioactifs HA et MA-VL. Ces études itératives, complétées par des caractérisations depuis la surface, ont permis d'affiner la connaissance géologique du sous-sol.

L'Andra va poursuivre des campagnes de forages en Meuse/Haute-Marne, pour améliorer les connaissances scientifiques et pour les besoins de la surveillance environnementale. Les implantations des forages seront définies progressivement, en parallèle de l'avancement des études de conception.

Ces nouveaux forages, dont les caractéristiques techniques et les emplacements sont en cours de définition pour optimiser leur intérêt scientifique et minimiser leur impact environnemental, ont vocation à être implantés hors du centre de stockage Cigéo.

Synthèse des choix d'implantation des autres opérations associées à la création du centre de stockage Cigéo

Les études de conception environnementale du projet global ont conduit à retenir :

- le raccordement du centre de stockage à la ligne très haute tension 400 kV Mery-Houdreville. Un poste de transformation 400/90 kV, des liaisons souterraines enterrées et des postes de livraisons 90 kV doivent être créés par RTE ;
- des conduites d'adduction d'eau seront construites par les syndicats de gestion locaux pour relier le centre de stockage aux captages de Thonnance-lès-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-le-Château. Les travaux permettront de renforcer les réseaux de certaines communes ;
- la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 sera entreprise par SNCF réseau pour connecter le centre de stockage au réseau ferré national ;
- la route départementale D60/960 sera déviée sur une partie de son tracé pour contourner la zone descenderie du centre de stockage tout en maintenant le niveau de service actuel ;
- l'expédition et le transport des colis de déchets radioactifs seront organisés par les producteurs de déchets radioactifs. Seuls les colis de déchets ayant fait l'objet d'une acceptation préalable par l'Andra seront expédiés ;
- l'Andra mènera hors et dans les emprises du centre de stockage des activités de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales prescrites.

2.5 Les principaux choix techniques et environnementaux effectués pour la conception du centre de stockage Cigéo

Ce chapitre présente les principaux choix techniques et environnementaux effectués pour la conception du centre de stockage Cigéo regroupant :

- les choix d'aménagement relatifs à l'organisation des différents équipements et ouvrages au sein de chaque zone ;
- les choix de conception liés à la sûreté des installations ainsi qu'à l'évolution progressive des connaissances scientifiques et technologiques ;
- les choix de conception liés à la préservation de l'environnement.

2.5.1 Les choix d'aménagement du centre de stockage

2.5.1.1 Les choix d'aménagement de la zone descenderie

La zone descenderie est dédiée principalement aux opérations de réception, de contrôle et de préparation des colis de déchets radioactifs avant leur transfert pour stockage dans l'installation souterraine. Elle accueille également la majorité des bâtiments administratifs et des fonctions support du centre de stockage Cigéo.

L'aménagement de la zone descenderie repose en premier lieu sur des principes environnementaux et urbanistiques.

Du point de vue environnemental, il s'agit principalement de :

- limiter les modifications de la topographie naturelle du site tout en recherchant un équilibre déblais/remblais :
  - ✓ ce principe a pour objectif de réduire les impacts environnementaux, notamment en maintenant les bassins versants actuels, en réduisant les volumes de terrassement et en évitant les transports de matériaux vers et depuis l'extérieur de la zone descenderie ;
- éviter les constructions en contrebas de la vallée de l'Orge compte tenu de ses enjeux écologiques (espèces et habitats d'intérêt) :
  - ✓ la préservation de la vallée de l'Orge bloque le développement de la zone descenderie vers le sud ;
- réduire l'impact paysager de la zone descenderie, en particulier depuis les villages les plus proches (Saudron et Gillaumé) par un éloignement physique des bâtiments et par la création d'une bande boisée périphérique et de merlons paysagers au sud-est de la zone.

Du point de vue urbanistique, il s'agit principalement de :

- tenir compte des installations et des bâtiments existants à proximité de la zone descenderie (Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, Écothèque et Espace technologique de l'Andra, bâtiment d'archives EDF, hôtel-restaurant Le Bindeuil, commerce) et des interfaces possibles de la zone descenderie avec ses installations et bâtiments ;
- définir des axes structurants comme base du développement spatial de la zone descenderie :
  - ✓ les axes structurants apportent de la flexibilité et de la lisibilité pour le développement progressif d'une zone industrielle ou urbaine sur une longue durée. À des fins d'optimisation des voieries existantes, le tracé de la route départementale D60/960 actuelle est conservé comme axe principal de distribution des installations de la zone descenderie ;
- positionner et organiser les plateformes d'implantation des ouvrages (bâtiments, utilités, bassins…) en fonction des courbes topographiques et des voiries :
  - ✓ les plateformes sont disposées pour faciliter l'exploitation des ouvrages (positionnement des utilités en bordure de la zone, bassins aux points bas, bâtiments pour l'exploitation en bordure des axes…) ;
- structurer la zone par un traitement paysager adapté ;
  - ✓ des espaces pleins et des vides sont créés pour dissimuler ou valoriser certains éléments et zones ainsi que pour rythmer la perception des aménagements ;
  - ✓ les limites des zones remaniées et les abords, notamment ceux maintenus en l'état, évitent les transitions marquées (comme des murs, des talus abrupts…).

Sur la zone descenderie, qui accueille notamment les futurs bâtiments nucléaires du centre de stockage Cigéo, l'Andra a défini des règles de positionnement des ouvrages les uns par rapport aux autres. Ces règles de positionnement des ouvrages au sein de la zone visent à les protéger, y compris des risques qu'ils pourraient générer les uns pour les autres. Elles visent également à permettre des travaux de maintenance et de rénovation de ces ouvrages. Les principales règles suivies pour positionner les ouvrages au sein de la zone descenderie sont les suivantes :

- les bâtiments nucléaires et les ouvrages sensibles sont positionnés, autant que possible, au centre de la zone descenderie pour bénéficier du plus haut niveau de protection vis-à-vis des agressions potentielles depuis l'extérieur ;
- les bâtiments nucléaires et les ouvrages sensibles sont éloignés d'au moins 200 mètres des installations conventionnelles :
  - ✓ cette disposition évite des risques de propagation d'incendie, des perturbations par d'éventuelles fumées ou tout autre effet « domino » en cas d'accident. Elle facilite également des futurs travaux (maintenance, rénovation…) ;
- les clôtures sont positionnées en fonction de la topographie et de la disposition des ouvrages et des voiries :
  - ✓ les clôtures sont disposées principalement pour des impératifs de sécurité (distances, hauteurs, surplombs, angles de vision…) ;
  - ✓ des espaces d'éloignement, variables en fonction de la sensibilité des fonctions à protéger, doivent être conservés entre les clôtures et les ouvrages et bâtiments.

L'Andra a également défini des règles de positionnement des ouvrages de la zone descenderie pour protéger le public, à l'extérieur de la zone, des conséquences d'un éventuel accident affectant un bâtiment à l'intérieur de la zone. Afin de maintenir un éloignement physique par rapport aux villages de Saudron et de Gillaumé les plus proches, les installations industrielles de la zone descenderie ont été positionnées à plus de 500 mètres des bâtiments de ces villages.

C'est dans le bâtiment nucléaire de surface EP1 de la zone descenderie (cf. Chapitre 3.2.2.1 du présent volume) que sont effectuées les opérations nucléaires de contrôle et de préparation des colis de déchets radioactifs HA et MA-VL (cf. Chapitre 3.2.3.2 du présent volume) avant leur transfert pour stockage dans l'installation souterraine. De par sa taille et la fonction qu'il occupe, le bâtiment nucléaire de surface EP1 est donc l'élément central de l'aménagement de la zone. Son implantation, son fonctionnement et les perspectives de son éventuel développement conditionnent l'organisation des bâtiments et la composition spatiale autour de lui.

De plus, à titre conservatoire, des espaces libres sont préservés à sa proximité pour permettre la construction éventuelle d'extensions qui pourrait être décidée, le cas échéant, dans le cadre de la mise en œuvre de la réversibilité (nouvel atelier d'expédition de colis, entreposages de gestion des flux, nouvelles fonctionnalités).

La concertation sur l'aménagement et le cadre de vie enclenchée par l'Andra abordera certains de ces aspects, notamment paysagers.



Figure 2-62 *Localisation des emprises réservées pour d'éventuelles extension du bâtiment nucléaire de surface EP1 pour la réversibilité*

Un dernier critère très déterminant de l'aménagement de la zone descenderie est la préservation de l'espace et de la flexibilité nécessaire à la construction ultérieure de certains bâtiments, non nécessaires au démarrage du centre de stockage, par exemple le bâtiment nucléaire de surface EP2 (cf. Chapitres 3.2.2.1 et 4.1.3 du présent volume). Le bâtiment nucléaire de surface EP2, dont la construction est envisagée à l'horizon 2070-2080, est utilisé pour le contrôle et la préparation à la mise en stockage des colis HA (cf. Chapitre 2.5.3.7 du présent volume). À cette échéance, le bâtiment nucléaire de surface EP1, utilisé pour la réception des colis HA0 et MA-VL, sera encore en fonctionnement. Les opérations de descente des colis HA vers les zones de stockage sont effectuées de façon similaire à celle des colis MA-VL, avec le même funiculaire et dans la même descenderie. Le bâtiment nucléaire de surface EP2 doit donc être relié à cette descenderie colis, perpendiculairement à l'axe de la descenderie pour s'adapter au procédé et donc nécessairement à l'opposé du bâtiment nucléaire de surface EP1 par rapport à l'émergence de la descenderie colis, c'est-à-dire au sud-est de la zone descenderie.

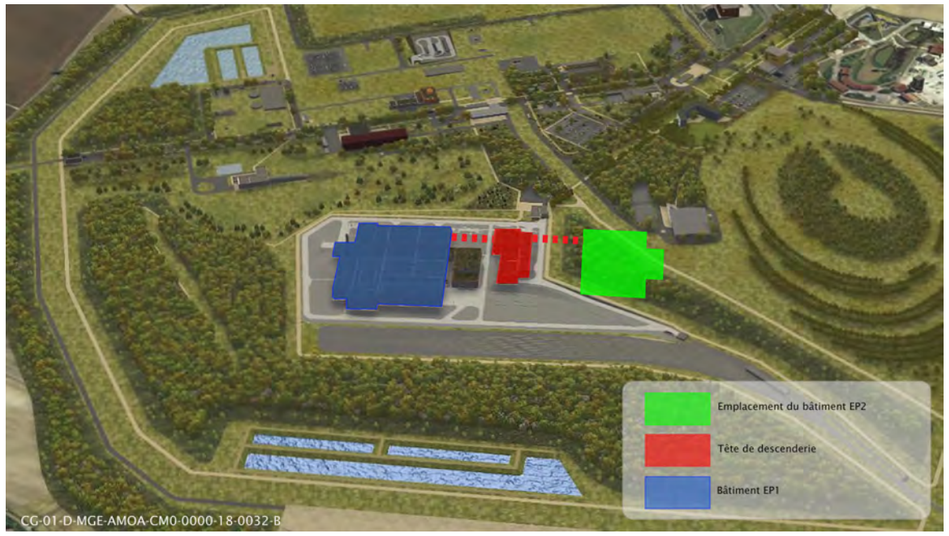


Figure 2-63 *Localisation de l'emprise réservée pour le bâtiment nucléaire de surface EP2 à l'Est de la tête de descenderie*

Cette contrainte d'implantation du futur bâtiment nucléaire de surface EP2 impacte le positionnement des autres installations et notamment celle de la zone des utilités. Celle-ci ne peut être installée au sud d'EP1 et des terminaux ferroviaires de la zone descenderie en raison de la présence des zones humides au bord de l'Orge. Il n'est pas non plus possible de l'implanter à l'ouest car elle serait dans ce cas trop proche de Saudron. L'Est est contraint par la présence des bâtiments du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, de l'hôtel-restaurant du Bindeuil, de l'OPE et d'EDF. Il est nécessaire de l'implanter au nord de la zone, à proximité des installations, ce qui ne permet pas de maintenir le tracé actuel de la route départementale D60/960, qui doit donc être dévoyée.



Figure 2-64 *Localisation de la zone fluide et utilité au nord du tracé actuel de la route départementale D60/960*

2.5.1.2 Les choix d'aménagement pour la zone puits

La zone puits est dédiée principalement aux installations de soutien aux activités souterraines de stockage et de travaux (déploiement progressif des zones de stockage).

Le choix de sa localisation, dans la partie sud du bois Lejuc, sur un terrain naturellement incliné vers l'Est, vers la vallée de l'Ormançon, répond aux critères et enjeux décrits aux chapitres 2.4.1.3.1, 2.4.1.3.2 et 2.4.1.3.4 du présent volume.

L'aménagement de la zone puits repose sur les mêmes types de principes environnementaux et urbanistiques que ceux exposés pour la zone descenderie (cf. Chapitre 2.5.1.2 du présent volume).

Du point de vue environnemental, il s'agit principalement de :

- limiter les modifications de la topographie naturelle du site en recherchant un équilibre déblais/remblais :
  - ✓ ce principe a pour objectif de réduire les impacts environnementaux, notamment en réduisant les volumes de terrassement et en évitant les transports de matériaux vers et depuis l'extérieur de la zone puits ;
- réduire l'impact sur les milieux environnants compte tenu de leurs enjeux écologiques :
  - ✓ la vallée de l'Ormançon, en maintenant une distance minimale de 200 mètres entre les ouvrages de la zone puits et le cours d'eau (à l'exception des ouvrages de rejets par diffusion des eaux approchant jusqu'à 150 mètres pour bénéficier de la topologie des talwegs existants) ;
  - ✓ les lisières du bois Lejuc, à l'est et à l'ouest de la zone puits, en préservant des bandes boisées d'une largeur de 100 mètres :
    - ces bandes boisées participent également à l'intégration paysagère de la zone puits ;
  - ✓ préserver une partie de la chênaie-charmaie existante au sud de la zone puits ;

- ✓ éviter le corridor écologique terrestre du SRCE situé au nord de la zone puits (cf. Chapitre 2.4.1.3.4 du présent volume) lors du déploiement des zones de gestion du Callovo-Oxfordien excavé dites verses Z1 et Z2 (cf. Chapitre 2.5.3.5 du présent volume).

Du point de vue urbanistique, il s'agit principalement de :

- définir des axes structurants comme base du développement spatial de la zone puits :
  - ✓ les axes structurants apportent de la flexibilité et de la lisibilité pour le développement progressif d'une zone industrielle ou urbaine sur une longue durée. Un axe de développement du sud vers le nord est recherché sur la zone puits en lien avec l'exploitation et le développement de la zone de gestion du Callovo-Oxfordien excavé ;
- positionner et organiser les plateformes d'implantation des ouvrages (bâtiments, utilités, bassins…) en fonction des courbes topographiques et des voiries ;
- structurer la zone par un traitement paysager adapté :
  - ✓ des espaces pleins et des vides sont créés pour dissimuler ou valoriser certains éléments et zones ainsi que pour rythmer la perception des aménagements ;
  - ✓ les limites des zones remaniées et les abords, notamment maintenus en l'état, évitent les transitions marquées (comme des murs, des talus abrupts…).

La zone puits n'accueille pas de bâtiments nucléaires. Par ailleurs, elle est plus éloignée des villages que la zone descenderie (environ 1,5 km). Elle respecte donc les mêmes règles de positionnement des bâtiments entre eux et vis-à-vis de l'extérieur sans que cela présente une contraient importante d'aménagement.

L'organisation des clôtures de la zone puits répond aux mêmes règles et contraintes que celles de la zone descenderie. Elles sont positionnées en fonction de la topographie et de la disposition des ouvrages et des voiries principalement pour des impératifs de sécurité (distances, hauteurs, surplombs, angles de vision…) et pour conserver des espaces d'éloignement entre les clôtures et les ouvrages et bâtiments à protéger.

S'agissant de la zone de verses, afin d'optimiser sa capacité d'accueil du Callovo-Oxfordien excavé, une digue est installée sur sa périphérie sud, ouest et nord. Cette digue permet de réduire leur surface tout en assurant leur insertion paysagère et la gestion des eaux pluviales. L'optimisation réalisée permet de réduire la consommation de l'espace boisé. Les déblais du Callovo-Oxfordien excavé sont acheminés vers leur zone de dépôt au moyen de bandes transporteuses. Ce moyen de manutention est adapté au transport de grandes quantités de matériaux pondéreux. Du point de vue environnemental, il permet d'éviter des transports par camion et les nuisances et risques associés. La hauteur maximale envisagée pour les verses est d'environ 20 mètres pour des raisons notamment de stabilité mécanique. Pour leur protection vis-à-vis des intempéries, elles sont progressivement recouvertes d'une couverture végétale réutilisant les terres de la zone puits. Cette mesure permet également leur intégration paysagère et la réduction de leurs impacts, notamment sur l'air (poussières), la qualité des eaux et la biodiversité. En dernier lieu, la zone de verses est développée progressivement en plusieurs phases afin de réduire les impacts des opérations de défrichement associées (cf. Chapitre 2.5.3.5 du présent volume).

La concertation sur l'aménagement et le cadre de vie enclenchée par l'Andra abordera certains de certains de ces aspects, notamment paysagers.

2.5.1.3 Les choix d'aménagement de la liaison intersites

La liaison intersites permet d'assurer les échanges entre la zone descenderie et la zone puits. Elle est constituée de deux infrastructures privatives, une piste routière et une bande transporteuse semi-enterrée, ainsi que d'une route ouverte au public. Le choix de sa localisation répond aux critères et enjeux décrits au chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume.

L'aménagement de la liaison intersites repose sur les principes suivants :

- minimiser la coupure dans le territoire, principalement sur le plan des usages et autant que possible du point de vue du paysage ;
- assurer la continuité de la trame verte ;
- rétablir les continuités hydrauliques ;
- préserver les structures paysagères en place (unités, points de repères, boisements…) ;
- préserver les usages en place (notamment agricoles) ;
- participer à la trame viaire locale ;
- minimiser les perceptions depuis les espaces vécus.

L'aménagement de la LIS privilégie autant que possible une mise à niveau des voieries avec le terrain naturel. Les voieries en déblai seront limitées à des usages ponctuels et les voiries en remblai de grandes hauteurs seront exclues. Le traitement paysager sera adapté aux reliefs et aux points de vue de la liaison intersites depuis le territoire.

Le convoyeur à bande transporteuse semi-enterré est implanté dans un caisson en béton armé, composé de deux murets recouverts par des dalles. Ce convoyeur présente les avantages d'être peu visible dans le paysage, de réduire les nuisances sonores et d'assurer une bonne sécurité (notamment au risque de chute) vis-à-vis des riverains et de la faune.

L'Andra rétablit les voies de circulation interceptées de sorte qu'aucune parcelle ne reste isolée.

La LIS n'est pas clôturée pour éviter d'impacter les mouvements de la faune et pour réduire son impact paysager.

La concertation sur l'aménagement et le cadre de vie enclenchée par l'Andra abordera certains de certains de ces aspects, notamment paysagers.

2.5.1.4 Les choix d'aménagement de l'installation terminale embranchée

L'installation terminale embranchée (ITE) du centre de stockage Cigéo est une infrastructure ferroviaire privée destinée à raccorder le Réseau Ferré National (RFN) à la zone descenderie du centre de stockage Cigéo. Le choix de sa localisation répond aux critères et enjeux décrits au chapitre 2.4.1.3.1 du présent volume.

L'aménagement de l'installation terminale embranchée repose sur les principes suivants :

- limiter la perception visuelle de l'installation ;
- réduire au mieux les impacts sur l'agriculture.

L'aménagement de l'installation terminale embranchée se base sur le tracé, l'altimétrie et le traitement paysager de la plateforme existante de l'ancienne ligne ferroviaire Gondrecourt-le-Château/Joinville sur ses dix premiers kilomètres (cf. Chapitre 2.4.1.3.6 du présent volume). Ce tracé réduit au mieux la consommation des terres agricoles.

Pour les quatre derniers kilomètres à créer, le tracé est très contraint par les altimétries à respecter entre l'ancienne plateforme et la zone descenderie à desservir. Les mesures paysagères à mettre en œuvre, selon les points de vue, s'appuient et réemploient les compositions paysagères existantes.

L'Andra rétablit les voies de circulation interceptées de sorte qu'aucune parcelle ne reste isolée.

L'ITE n'est pas clôturée pour éviter d'impacter les mouvements de la faune et pour réduire son impact paysager.

La concertation sur l'aménagement et le cadre de vie enclenchée par l'Andra abordera certains de certains de ces aspects, notamment paysagers.

2.5.2 Les choix de conception liés à la sûreté des installations ainsi qu'à l'évolution progressive des connaissances scientifiques et technologiques

Les choix de conception liés à la sûreté se fondent sur un socle de connaissances scientifiques et technologiques acquis depuis plus d'une trentaine d'années et sur des boucles d'itération sureté/conception/connaissances scientifiques et technologiques menées depuis le début du projet global Cigéo. Ces boucles d'itérations, importantes dans le développement progressif du centre de stockage Cigéo, permettent de faire des choix en vue d'assurer la sureté des installations et ouvrages en phase de fonctionnement (cf. Chapitre 11 du Volume IV de la présente étude d'impact) mais également après fermeture du centre de stockage et à long terme (cf. Chapitre 18 du Volume IV de la présente étude d'impact).

2.5.2.1 S'appuyer systématiquement sur des itérations associant la sûreté, la conception et les connaissances scientifiques et technologiques pour développer progressivement le centre de stockage Cigéo

Le processus de développement progressif du centre de stockage Cigéo s'appuie, depuis environ 30 ans, sur des itérations périodiques entre sûreté, conception et connaissances scientifiques et technologiques.

Ces itérations mises en place dès le démarrage du programme de recherche et développement sur le stockage dans les années 90 par l'Andra ont intégré ainsi la sûreté dès les phases amont de conception. Elles permettent d'orienter progressivement les choix de conception de l'installation de stockage, de manière à accroitre sa robustesse en prenant en compte l'avancée progressive des connaissances scientifiques et technologiques et les objectifs de sûreté qui lui sont conférés.

L'objectif fondamental d'une installation de stockage de déchets radioactifs consiste à garantir la protection des populations et de l'environnement vis-à-vis des déchets radioactifs. Elle est étudiée en faisant l'hypothèse que diverses situations, normales mais également intégrant des défaillances potentielles de composants/équipements pouvant survenir.

Compte tenu de la longue durée durant laquelle les déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) restent dangereux, la protection de la santé de l'homme et de l'environnement ne peut pas reposer à long terme sur des actions de surveillance et un contrôle institutionnel, qui ne pourront pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée. Elle doit reposer, à termes, sur des dispositions passives, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas dépendre d'actions humaines, notamment grâce au choix du milieu géologique et à la conception de l'installation. La sûreté d'une installation de stockage, et en particulier sa sûreté après sa fermeture, à long terme, est donc un sujet essentiel, dans le développement progressif du stockage.

La conception d'une installation de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HA et MA-VL doit assurer le confinement de la radioactivité sur des périodes extrêmement longues, typiquement de plusieurs centaines de milliers d'années. Ainsi, l'installation de stockage devra être telle qu'elle permette de prévenir et de limiter au mieux les relâchements de radioactivité en surface, au moins jusqu'à ce que l'activité radiologique qu'elle contient ait décru jusqu'à un niveau résiduel qui n'est plus susceptible d'évoluer significativement, et qui ne risque plus d'occasionner des conséquences inacceptables pour l'Homme et pour l'environnement, sans limite de temps fixée *a priori*.

Afin d'assurer la sûreté après fermeture et à long terme, deux principes orientent la conception du stockage :

- la protection des personnes et de l'environnement contre les atteintes éventuelles liées aux déchets radioactifs ;
- la limitation à un niveau aussi faible que raisonnablement possible de l'impact radiologique éventuel.

Compte tenu de la spécificité du stockage en couche géologique profonde (son caractère « unique », son caractère souterrain et le fait qu'il doit assurer la protection sur le long terme), le développement progressif du projet de stockage s'appuie sur un lien très étroit entre trois piliers que sont la conception, les connaissances (scientifiques et technologiques) et la sûreté.

Ce lien étroit intègre également une spécificité du stockage qui est la mise en œuvre de deux démarches de sûreté menées conjointement et de manière intégrée :

- *l'une* s'apparente à une démarche classique appliquée par les autres installations nucléaires. Les règles et pratiques sont communes à toute installation nucléaire de base (règles fondamentales de sûreté « RFS », guides de sûreté...). Leur mise en œuvre intègre les spécificités en particulier de l'installation souterraine (coactivité entre travaux et exploitation nucléaire en souterrain, longueur des ouvrages, durée du fonctionnement d'une centaine d'année...) et de la réversibilité ;
- *l'autre* est propre au stockage et destinée à garantir la sûreté à long terme une fois l'installation de stockage fermée définitivement. Le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (43) spécifique au stockage en formation géologique profonde fixe les objectifs qui doivent être retenus, notamment :
  - ✓ les objectifs de protection de la santé de l'homme et de l'environnement ;
  - ✓ les principes de sûreté et les bases de conception de l'installation de stockage liés à la sûreté.

Cette démarche permet notamment de gérer les avancées de connaissances et le retour d'expérience de l'exploitation de manière intégrée. Ainsi l'opportunité de retenir des solutions techniques pour la conception du stockage est analysée sous l'angle de leur compatibilité avec une exploitation sûre de l'installation et du respect des exigences de sûreté après fermeture.

Dans le cadre du développement progressif de l'installation souterraine et lors des réexamens de sûreté, chaque itération intègre les avancées de la connaissance scientifique et technologique ainsi que le retour d'expérience de la construction puis de l'exploitation (dont la surveillance) sont analysés sous l'angle également de la sûreté en exploitation et après fermeture.

Les enseignements de chaque itération « sureté/conception/connaissances » constituent une donnée d'entrée pour la suivante et permet d'orienter en fonction de l'objectif visé, les études en matière d'acquisition de connaissances scientifiques et technologiques complémentaires, les études de conception, et les besoins en termes d'approfondissement des études de sûreté (cf. Figure 2-65).

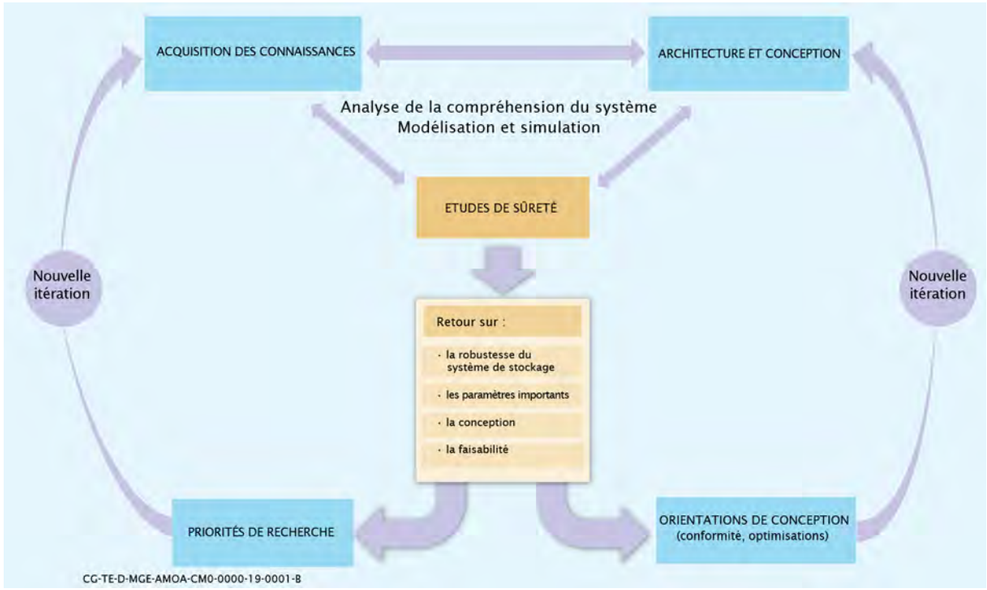


Figure 2-65 Illustration du processus itératif reliant acquisition de connaissances, conception et sûreté

Les travaux sont régulièrement contrôlés et évalués, notamment l'ASN et son appui technique, l'IRSN, ainsi que par des revues nationales et internationales d'experts mandatés notamment par l'ASN ou le Clis du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute ainsi que par la commission nationale d'évaluation (qui rapporte annuellement à l'OPECST).

Par ailleurs, le conseil d'administration de l'Andra s'appuie sur plusieurs comités, et notamment un conseil scientifique composé d'experts français et étrangers, femmes et hommes, nommés par le Ministère pour une durée

de cinq ans, sur proposition de l'Andra. Ce principe de constitution du conseil scientifique garantit son indépendance, quand bien même il est rattaché au conseil d'administration de l'Andra : ainsi, le conseil scientifique choisit lui-même les sujets sur lesquels il souhaite travailler.

Pour conduire ses recherches, l'Andra fait appel à des compétences - internes et externes - nombreuses, de nature diverses et complémentaires (par exemple les géosciences, l'environnement, les sciences des matériaux, les sciences du climat, les travaux souterrains, le génie nucléaire, la simulation numérique, la radioprotection, la sécurité incendie...). Elle s'est appuyée et s'appuie encore sur les compétences d'organismes de recherche reconnus tels que par exemple le BRGM, le CEA, EDF R&D, Inria, l'INRAE, l'Inéris, l'IGN, l'Université de Lorraine. Leurs travaux font l'objet de publications dans des revues scientifiques reconnues, ce qui est une garantie de leur qualité scientifique et de leur large diffusion dans le monde scientifique permettant leur critique objective, comme toute publication.

De plus, l'Andra croise ses connaissances avec les experts au niveau national et international, experts qui sont indépendants de l'Andra. À ce titre, les projets de recherche et développement européens, en particulier l'actuel *European Joint Programming* EURAD fédèrent autour de la recherche sur le stockage géologique les agences en charge de la gestion des déchets radioactifs, les organismes appui technique aux autorités de sûreté et des laboratoires de recherche, de la quasi-totalité des pays européens[128].

Depuis les options de sûreté soumise par l'Andra à l'ASN en 2016 et pour lesquelles l'ASN à l'issue de leur instruction a émis un avis, une nouvelle itération sûreté/conception/connaissances a été réalisée dans le cadre de la phase de conception initiale en avant-projet. À l'issu, sur la base du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo, le processus d'instruction de la demande d'autorisation de création, dont l'obtention sera un préalable à la construction initiale de l'INB Cigéo, prévoit notamment un nouvel examen technique par l'ASN qui s'appuiera sur l'IRSN et sur ses groupes permanents d'experts, groupes qui rassemblent des intervenants d'horizons variés (dont des ONG). Ce processus d'instruction détaillé durera plusieurs années et permettra d'examiner l'ensemble des points techniques.

2.5.2.2 Viser un objectif à chaque itération

Chaque itération « sureté/conception/connaissances » intermédiaire associée au jalonnement du développement du projet Cigéo (dénommé HA-VL puis HA/MA-VL avant 2010) fait l'objet d'instructions par l'ASN et son appui technique l'IRSN et le cas échéant d'évaluations par les pairs dans le cadre de revue au nveau international.

En premier lieu, compte tenu de l'importance de la vérification du respect de l'objectif fondamental de protection de l'Homme et l'environnement à long terme, l'Autorité de sûreté nucléaire a constitué un référentiel de sûreté relatif au stockage en formation géologique qui fixe les objectifs de protection et de sûreté en particulier à long terme et qui accompagne les itérations et leurs instructions :

- l'ASN a émis dès 1991 une règle fondamentale de sûreté (RFS III.2.f) relative au stockage géologique des déchets radioactifs en formation géologique profonde (81) pour définir les objectifs qui doivent être retenus afin d'assurer la sûreté à long terme du stockage. Elle précise les attentes, plus particulièrement en matière de sûreté à long terme vis-à-vis du stockage, les principes de conception, les critères de sélection du milieu géologique propice et les modalités d'études. Elle fixe également les objectifs fondamentaux qui doivent guider les travaux sur le stockage. La RFS III.2.f, dès 1991, précise que *« La protection des personnes et de l'environnement à court et long terme constitue l'objectif fondamental assigné à un centre de stockage de déchets en formation géologique profonde »*. Elle définit des objectifs de sûreté pour les phases d'études et de travaux en particulier de reconnaissance des sites ;
- en 2008, l'ASN a fait évoluer la RFS III.2 f qui a été remplacée par le guide de sûreté de l'ASN relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (43). Cette mise à jour tient compte notamment du retour d'expérience de l'instruction par l'ASN des dossiers antérieurs de l'Andra, ainsi que des orientations désormais fixées par la loi de programme du 28 juin 2006 (17). Les principales modifications introduites dans le guide de l'ASN de 2008 sont relatives notamment à la définition des fonctions de sûreté du stockage, à la notion de réversibilité, aux objectifs de la surveillance de l'installation. Le guide de sûreté de l'ASN de 2008 permet ainsi d'intégrer les retours d'expérience des instructions antérieures, les avancées de la réflexion en particulier au niveau international (cf. Post-closure Safety Case for Geological Repositories : Nature and Purpose (125)) et ainsi de mieux cadrer le développement industriel du stockage.

En second lieu, un processus d'instruction est mis en œuvre tout au long du développement du projet. Ce processus, piloté par l'ASN, repose sur l'élaboration par l'Andra d'un dossier de sûreté à chaque itération clé du développement de la conception du centre de stockage :

- l'instruction est réalisée avec l'appui des experts de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), saisi par l'ASN, et qui mènent une instruction technique détaillée des dossiers de l'Andra à l'issue de laquelle est produit un rapport. Pour étayer ses décisions, l'ASN s'appuie également sur des groupes permanents d'experts (GPE) relevant de leurs domaines d'expertise respectifs. Les GPE statuent sur la base de l'analyse technique conduite par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. De manière générale, les avis portent sur la sûreté des concepts proposés par l'Andra pour le stockage des déchets HA et MA-VL, et la qualité de l'ensemble des données qui sous-tendent les évaluations de sûreté ;
- en complément, des revues par des experts sûreté au niveau international permettent de confronter les évaluations de sûreté menées par l'Andra aux meilleures pratiques internationales (cas des revues en 2001 pour le dossier préfigurant le dossier de faisabilité du stockage après 15 ans de recherches dans le cadre de la loi « bataille » de 1991 (50) et en 2005 sur le dossier de faisabilité (65)) et aux normes de sûreté applicables de l'Agence internationale de l'énergie atomique (cas de la revue du dossier d'options de sûreté (DOS) en 2016, en préalable à la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo).

Plusieurs itérations de sûreté menées par l'Andra et leurs instructions par l'ASN se sont échelonnées sur une trentaine d'années, en lien avec le jalonnement du développement de la conception du stockage et les grandes étapes à franchir.

Chaque itération, et donc chaque instruction, a été réalisée en regard d'un objectif à atteindre :

- assoir les fondamentaux nécessaires à la démonstration de sûreté d'un stockage en formation géologique profonde et en particulier à long terme après fermeture ;
- préparer la création d'implantation et d'exploitation d'un Laboratoire de recherche souterrain en évaluant les critères de choix de site et en procédant à une première évaluation de sûreté ;
- approfondir les connaissances et préparer le dossier de faisabilité ;
- présenter la faisabilité du stockage sur la base des acquis de connaissances et en appliquant la démarche de sûreté, en réponse à la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (50) ;
- préciser la zone d'implantation de recherche approfondie pour l'installation souterraine au sein de la zone où a été établie la faisabilité du stockage en 2005 et les zones d'implantation des installations de surface ;
- accompagner le développement progressif de la conception et ses évolutions en vue de la demande d'Autorisation de création ;
- soumettre les options de sûreté préalablement à la demande d'autorisation de création en accord avec la réglementation relative aux « procédures INB[129] ».

[128] https://www.ejp-eurad.eu/

[129] En 2015, les options de sûreté ont été établies en accord avec l'article 6 du décret n° 1557 de 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives (126) qui a été abrogé par Décret n° 2019-190 du 14 mars 2019 - art. 5 (127) et repris dans l'article art. R. 593-14 du code de l'environnement.

Synthèse - Un objectif à chaque itération

Huit itérations de sûreté ont été réalisées depuis 1991, chacune répondant à un objectif visé en lien avec une étape clé du développement progressif du projet de stockage : options initiales de conception, autorisation d'installation et d'exploitation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, préparation de la faisabilité, faisabilité, premières options de conception et de sûreté, choix de site et esquisse et options de sûreté.

Chaque itération a conduit à une évaluation de la sûreté, en fonctionnement et à long terme, en regard de l'état des connaissances scientifiques et technologiques, de la conception du stockage et de la description de son comportement dans le temps. Pour chaque itération, l'Andra s'est attachée à vérifier notamment le respect des objectifs de sûreté et de protection fixés par la RFS.III.2.f de 1991 (81) puis le guide de sûreté de l'Autorité de sureté nucléaire (ASN) relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde de 2008 (43).

Chaque itération s'est traduite par l'élaboration d'un dossier émis par l'Andra, qui a fait l'objet d'une instruction systématique menée par l'ASN.

Trois dossiers ont également fait l'objet d'une revue par des experts reconnus au niveau international.

Les itérations de sûreté successives ont contribué à identifier très tôt et progressivement les enjeux de sûreté et à les intégrer dans la conception à chaque étape clé du développement du stockage. Le caractère itératif de la démarche de conception et d'acquisition de connaissances scientifiques et technologiques mise en œuvre par l'Andra a permis d'assurer, de manière progressive, structurée, évaluée et tracée, la faisabilité du projet puis son développement eu égards aux exigences de sûreté applicables.

L'ensemble des itérations mentionnées ci-avant peuvent être regroupées en trois grandes phases de jalonnement présentées ci-après.

Première phase de jalonnement encadrée par la loi de 1991

La loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (50) avait prévu 15 années d'études afin que chaque axe de recherche puisse faire l'objet d'une proposition étayée scientifiquement et techniquement. Évaluer la faisabilité impose de bien comprendre les propriétés des différents composants du stockage et les évolutions de ces derniers jusqu'à des échelles de temps très longues : milieu géologique (notamment la roche hôte), déchets, composants ouvragés (colisage des déchets, barrières ouvragées, soutènements des ouvrages souterrains…), radionucléides. Cette maîtrise des connaissances permet d'assoir sur des bases scientifiques fortes un jugement sur la faisabilité du stockage au regard des objectifs notamment de sûreté qui lui sont assignés.

En 2005, en s'appuyant sur l'ensemble des recherches et des résultats des itérations entre sureté, conception et connaissances, l'Andra a produit un dossier de faisabilité dénommé « Dossier 2005 - » (80) qui a fait l'objet d'une instruction par l'ASN (49) ainsi qu'une évaluation par la Commission nationale d'évaluation (CNE) (48).

Les résultats des recherches menées dans le cadre de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 sur les trois axes ont également fait l'objet d'un débat public national.

Seconde phase de jalonnement encadrée par la loi du 28 juin 2006 : préparer la demande d'autorisation de création

Sur la base des résultats des 15 années de recherche, l'Andra a été chargée de poursuivre les études et les recherches afin de concevoir et d'implanter un centre de stockage profond de telle sorte que sa demande d'autorisation puisse être instruite en 2015.

Le 5 mai 2014, à la suite du débat public et des conclusions qui en ont été rendues, le Conseil d'administration de l'Andra a indiqué par délibération (32) que « *l'Andra remettra à l'État un ensemble de documents constitué d'une proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo, du dossier d'options de sûreté et du dossier d'options techniques de récupérabilité pour préparer l'instruction de la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo* ».

Troisième phase de jalonnement : vers la demande d'autorisation de création

Le 19 décembre 2014, l'ASN a formulé ses attentes vis-à-vis des options de sûreté du centre de stockage Cigéo (128). Il est notamment mentionné que le dossier d'options de sûreté (DOS) devra « *présenter explicitement les objectifs, concepts et principes retenus afin d'assurer la sûreté de l'installation en exploitation [..]. Ces demandes sont complétées […] par une liste détaillée des éléments nécessaires pour que l'instruction du dossier d'options de sûreté puisse être valablement menée* ».

L'Andra a soumis son dossier d'options de sûreté (DOS) dénommé « Dossier Cigéo 2015 » à l'ASN (69, 79, 88, 92). Ce dossier a fait l'objet d'une instruction puis d'un avis formel de l'ASN (67) ainsi que d'une lettre de suite (98) en 2018 qui constitue la feuille de route pour la présente demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo. Ce dossier a fait également l'objet d'un avis de la CNE en 2016 (102). La figure 2-66 illustre les grandes étapes (*i.e.* Itérations) de développement progressif du stockage depuis 1991 jusqu'à la demande d'autorisation de création selon ces trois grandes phases de jalonnement.

Ces grandes étapes, ou itérations, sont développées dans les chapitres qui suivent, sous les titres de leurs objectifs.

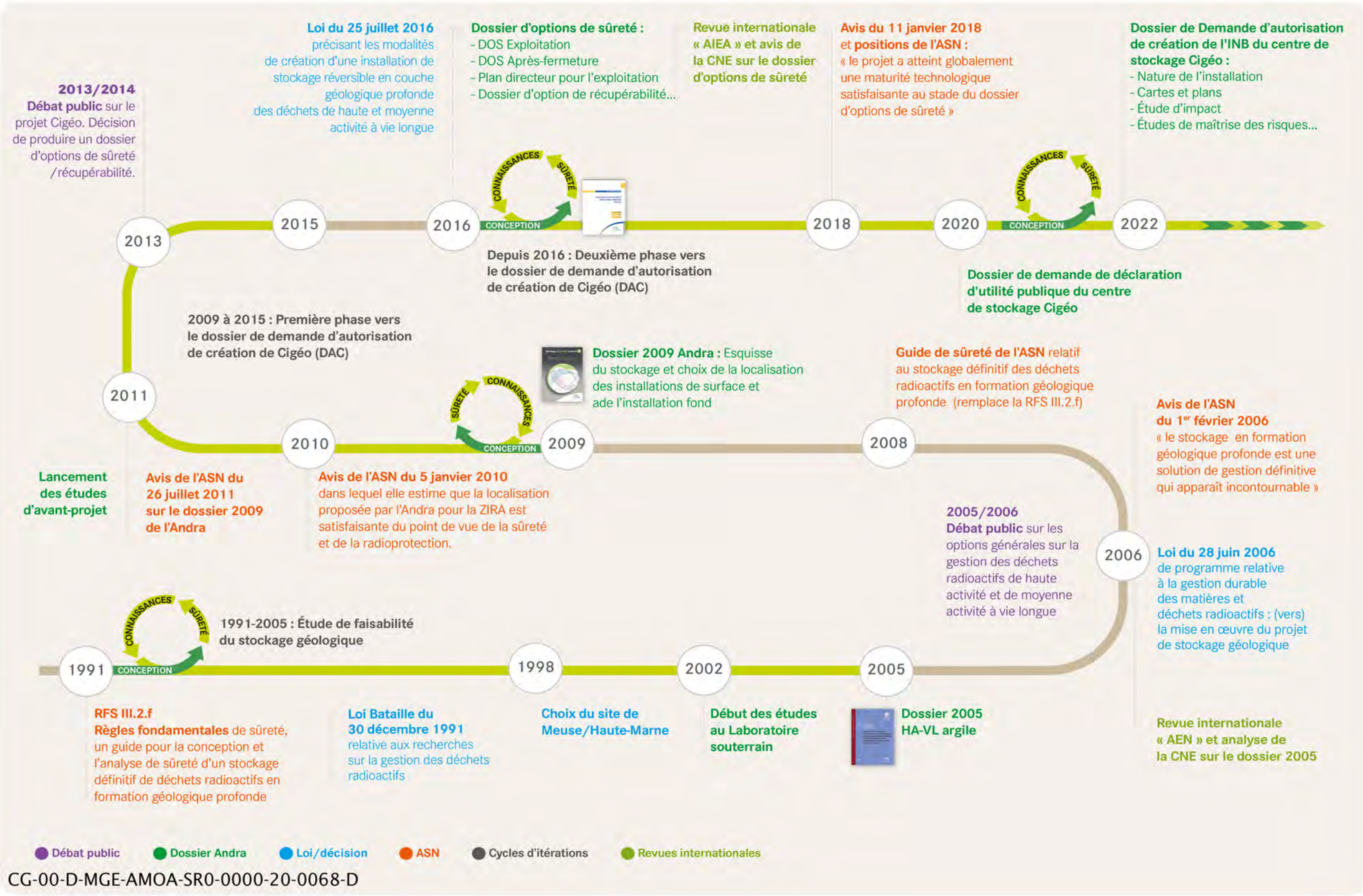


Figure 2-66 Des itérations de Sûreté/Conception/Connaissances qui se sont échelonnées depuis 1991

2.5.2.3 Assoir les fondamentaux de la démonstration de sûreté en particulier après fermeture

Dès le début du processus de développement du projet de stockage, tenant compte en particulier de l'objectif fondamental de protection sur le long terme tel que mentionné par la RFS III.2.f (81), l'Andra a développé puis mis en œuvre une démarche de sûreté qui répond aux spécificités suivantes :

- la nécessité d'aborder la sûreté du stockage :
  - ✓ pour les phases de fonctionnement, de démantèlement et de fermeture *via* des analyses de risques (et des fonctions de sûreté) similaires à celles pratiquées dans les installations nucléaires de base (INB) en les adaptant pour certains aspects spécifiques au caractère souterrain de l'installation de stockage (transfert des colis de la surface vers les ouvrages souterrains, profondeur, développement progressif, coactivité travaux souterrains/exploitation nucléaire, géométrie des ouvrages souterrains, durée de fonctionnement centennale) ;
  - ✓ après la fermeture définitive du stockage, pour les phases de surveillance et post-surveillance (communément appelée de long terme après fermeture) où la sûreté doit être assurée sans besoin d'intervention particulière (passivité), conformément à la RFS.III.2.f, *via* une analyse des risques et incertitudes en lien avec l'état des connaissances notamment du comportement du stockage dans le temps et les fonctions de sûreté après fermeture qui lui sont allouées ;
- la place centrale accordée à la phase après la fermeture définitive du stockage, dès le début de la conception en s'appuyant sur quatre axes de recherche et de développement (cf. Figure 2-65) :
  - ✓ l'acquisition de connaissances (caractéristiques et comportement du milieu géologique, notamment la couche hôte, les déchets, les composants ouvragés, les radionucléides) afin de comprendre les phénomènes physiques et chimiques qui gouvernent leurs comportements et leur évolution, sur de très longues durées ;
  - ✓ la conception du stockage (conteneurs de stockage, architecture et intégration du stockage dans le site géologique, modes de réalisation et d'exploitation, gestion des colis de déchets, possibilités de fermeture du stockage) afin de proposer une architecture de stockage une fois fermée définitivement en lien avec l'état des connaissances et en réponse aux objectifs de sûreté à long terme ;
  - ✓ la description (*i.e.* Compréhension) du comportement du stockage et de son environnement géologique (notamment les interactions entre les composants et les évolutions géodynamiques) afin d'appréhender les évolutions thermique, mécanique, chimique et hydraulique ainsi que le relâchement des radionucléides dans le temps et l'espace, au travers notamment de la modélisation et de la simulation numérique ;
  - ✓ les évaluations de sûreté pour analyser les risques et incertitudes, et évaluer les performances du stockage en matière d'isolement et de confinement ; ainsi que sa robustesse vis-à-vis des incertitudes ou de perturbations.

- de disposer d'une vue complète des éléments de connaissances sur les composants du stockage : milieu géologique, matériaux ouvragés (colisage, scellements…), déchets, radionucléides ;
- d'identifier les grandes questions scientifiques relatives au stockage géologique profond de déchets radioactifs, d'évaluer les principaux enjeux, d'élaborer les programmes d'études et de recherche nécessaires en associant très largement les partenaires scientifiques compétents et en leur permettant de hiérarchiser les priorités en matière d'étude et de recherche.

Synthèse – Les fondamentaux de la démonstration de sûreté

Sur la base des premiers acquis de connaissances scientifiques et technologiques, l'Andra a franchi une étape importante en établissant une démarche de sûreté pour le stockage géologique, en accord avec les recommandations de la RFS.III.2.f (81).

Cette étape a également permis de fixer les éléments de connaissances restant à approfondir et les premiers concepts à étudier.

Elle constitue la première des itérations entre la sûreté, la conception et les connaissances scientifiques et technologiques.

CONSOLIDATION DE LA METHODE D'ANALYSE DES RISQUES PAR LE CROISEMENT DE COMPETENCES ET D'EXPERTISES DE NATURES ET D'ORIGINES VARIEES

Dans le cadre du processus itératif entre l'évaluation de sûreté, la conception et les connaissances scientifiques et technologiques, et plus particulièrement dans un objectif de maitrise des risques et incertitudes résiduelles tant en exploitation qu'en après fermeture, l'Andra fait appel à des compétences nombreuses et de nature diverses et complémentaires. Celles-ci couvrent ainsi un vaste champ de domaines qui sont au cœur de la conception, la réalisation, l'exploitation et la sûreté du stockage géologique : par exemple les géosciences (géologie, sédimentologie, structurale, géo-mécanique, géochimie, tectonique/sismicité, hydrogéologie…), l'environnement, la radiochimie, les sciences des matériaux, les sciences du climat, les travaux souterrains, le génie civil, le génie nucléaire, les mathématiques appliquées, la simulation numérique, la métrologie, la science des données, la radioprotection, la sécurité incendie…

L'Andra s'adresse ainsi à des organismes divers (centres de recherche, universités, établissements publics à caractères scientifiques et technologiques, ingénieries, grands groupes de la filière nucléaire des travaux publics ou travaux souterrains, institutions/associations professionnelles…) dont la compétence dans un domaine donné est reconnue. Cela permet à l'Andra de disposer d'une base de connaissances et d'analyse solide dans chaque domaine mobilisé. Par ailleurs, en regard du caractère pluridisciplinaire des sujets traités, l'Andra établit le croisement entre les différentes compétences et domaines afférents, afin notamment de s'assurer de la cohérence d'ensemble, notamment en termes d'analyse de risques et de sûreté.

L'Andra croise ses connaissances avec les experts au niveau international en s'impliquant fortement dans des coopérations internationales, notamment avec ses homologues étrangers, au travers de collaborations bilatérales ou multilatérales (Andra-NAGRA par exemple…) ou d'instances internationales (projet AEN Clay Club, base de données AEN FEPs et FEPCAT, MODERN 2020, projet AIEA GEOSAF…). Cela permet également aux agences de disposer en commun d'une base éprouvée de connaissances, de méthodes et d'analyses ainsi que partager les retours d'expérience.

En termes de gouvernance interne, l'Andra s'appuie sur différentes instances indépendantes et constituées d'experts reconnus dans leur domaine, en particulier un Conseil scientifique et des comités techniques spécialisés, comme le comité industriel, le comité des travaux souterrains, le comité des expérimentations dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, ou le comité sûreté et environnement. Ces instances contribuent au système de revues internes dédiées à l'analyse des données, modèles et choix de sûreté à retenir pour les évaluations de sûreté (69). Ces revues permettent de valider les choix et leurs justifications.

Ainsi :

- le Conseil scientifique de l'Andra, nommé par décret par les tutelles de l'agence, est chargé d'émettre des avis et recommandations sur les priorités des recherches menées par l'Andra et d'en évaluer les résultats, notamment en regard des enjeux d'acquisition ou d'utilisation des connaissances scientifiques et technologiques pour la conception et la sûreté du système de stockage. À ce titre, le Conseil scientifique a examiné systématiquement tout ou parties des dossiers antérieurs afférents et à chaque itération de sûreté/conception/connaissances ;

- le comité de sûreté et environnement s'inscrit dans le processus de revues de conception à chaque étape clé du développement du projet de centre de stockage Cigéo (esquisse, avant-projet sommaire, avant-projet détaillé.).

Enfin, comme indiqué au chapitre 4 du volume II de l'étude d'impact, différentes revues ou équivalents externes ont été menées :

- depuis 1991, les différents dossiers afférents au développement du centre de stockage Cigéo sont soumis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui a émis des avis et recommandations, notamment pour le « Dossier d'options de sûreté » (DOS) établi par l'Andra en 2016 (69, 79) en vue de la demande d'autorisation. Ses avis sont établis sur la base d'un travail d'évaluation mené par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté (IRSN) et soumis à des groupes permanents d'experts (maillon important de l'organisation de la sûreté nucléaire en France, un groupe permanent d'experts est une instance constituée d'experts nommés en raison de leurs compétences et de leur expérience professionnelle. Ils sont issus des milieux universitaires et associatifs mais aussi des exploitants concernés par les sujets traités et de l'IRSN). L'Autorité de sûreté effectue également des visites notamment sur le Centre de Meuse/Haute-Marne au cours desquelles elle porte une appréciation sur la qualité de travaux en cours, en particulier dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ;
- instaurée par la loi du 30 décembre 1991 puis celle de 2006, la Commission nationale d'évaluation (CNE) a pour mission d'évaluer la qualité des travaux de l'Andra et produit un rapport annuel dans lequel elle émet un avis sur ces travaux. Ses avis et recommandations constituent des données d'entrées pour affiner les priorités du programme de recherche et de manière général les travaux de conception et d'évaluation de sûreté du centre de stockage Cigéo. La CNE rend compte à l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques (OPECST) ;
- des revues des grands dossiers du centre de stockage Cigéo par les pairs ont été organisées sous l'égide de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique — anglais International Atomic Energy Agency).

Le Comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute a aussi mandaté en propre des expertises, comme sur la géothermie, ou la revue de grands dossiers de l'Andra par des organismes indépendants, comme l'IEER (*Institute for Energy and Environmental Research*[131]).

Enfin, le dossier de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo (article R. 593-16 du code de l'environnement), comprendra une pièce dites « capacités techniques de l'exploitant » dans laquelle l'Andra indiquera « *notamment les ressources techniques dont il dispose, l'organisation mise en place dans ce domaine et l'expérience dont il peut se prévaloir dans l'exploitation d'installations nucléaires* ».

2.5.2.4 Proposer un site d'implantation d'un Laboratoire de recherche souterrain et une première évaluation de la sûreté associée

Dès 1994, l'Andra a mené un programme de reconnaissance et de caractérisation pour appréhender les grands traits de l'environnement géologique du site de Meuse/Haute-Marne et en particulier pour :

- confirmer l'intérêt de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien envisagée comme roche hôte du stockage et de son contexte géologique sur une zone de plusieurs centaines de km^2, située sur le sud de la Meuse et le nord de la Haute-Marne ;
- sélectionner un site pour l'implantation d'un Laboratoire de recherche souterrain dans le Callovo-Oxfordien en vue de l'implantation d'un éventuel stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde.

L'objectif était en particulier de faire une première caractérisation des propriétés des différentes formations géologiques, plus spécifiquement la couche du Callovo-Oxfordien, à grande maille à partir de forages carottés. Des travaux de cartographie géologique en surface ont permis de préciser les cartes géologiques existantes.

Deux forages carottés profonds respectivement à 1 100 m et 920 m de profondeur et distants de 15 km ont été réalisés. L'Andra a enregistré en continu sur toute la hauteur de ces forages, avec des outils de diagraphie développés pour l'industrie pétrolière, les paramètres des formations géologiques traversées (résistivité électrique, vitesse du son, porosité, densité…), prélevé des carottes (échantillons cylindriques de roche) pour analyses et essais en laboratoire au jour et réalisé des mesures hydrogéologiques.

Ces analyses, mesures et essais ont :

- confirmé la structure simple du milieu géologique (succession de formations géologiques argileuses et calcaires quasi planes…) ;
- permis d'avoir un premier aperçu des propriétés géomécaniques, thermiques, géochimiques et hydrogéologiques de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien ;
- confirmé sa très faible perméabilité ;
- montré que ses propriétés ne présentaient pas de caractère rédhibitoire pour l'étude de la faisabilité d'un stockage et qu'à cette maille d'investigations, elles ne variaient que très faiblement.

Ces éléments ont permis de vérifier les critères de choix de site conformément aux recommandations de la RFS.III.2.f (81).

L'ensemble de ces travaux a conduit à proposer le site pour installer le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, l'étude préliminaire des propriétés mécaniques de la formation argileuse ayant par ailleurs montré la possibilité d'y creuser les ouvrages nécessaires à ce Laboratoire (puits et galeries).

En parallèle, l'Andra a mené des études de concepts de stockage pour répondre aux questions mises en évidence par les premières analyses de sûreté.

Synthèse – L'implantation d'un Laboratoire de recherche souterrain et la première évaluation de la sûreté associée

L'Andra a défini le programme expérimental à mener dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et l'architecture correspondante de ce dernier. L'ensemble de ces travaux a permis à l'Andra de présenter une demande d'autorisation de création du Laboratoire de recherche souterrain.

À l'issue de son instruction, la publication en août 1999 du décret d'autorisation de création du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne à Bure (71) amorce une nouvelle étape du programme d'études et de recherches, en support au développement du projet de stockage géologique profond.

Le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne est un outil privilégié pour :

- confirmer *in situ* les caractéristiques géologiques du Callovo-Oxfordien ;
- mesurer *in situ* les propriétés du Callovo-Oxfordien, notamment évaluer sa capacité de confinement des radionucléides ;
- mener des expérimentations plus globales pour déterminer les possibilités de construction des ouvrages d'un stockage en intégrant les perturbations provoquées par leur réalisation ;
- aider à la définition de l'architecture du stockage.

[131] https://clis-bure.fr

2.5.2.5 Préparer le dossier de faisabilité du stockage à l'issue de 15 ans de recherches dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991

Suite au décret du 3 août 1999 (71), l'Andra poursuit l'approfondissement de la caractérisation du Callovo-Oxfordien sur le site de Meuse/Haute-Marne depuis la surface (campagne sismique 3D, nouveaux forages…) et débute en 2000 le creusement du puits d'accès et du puits auxiliaire du Laboratoire souterrain. En parallèle, les études de concepts de stockage sont définies pour répondre aux questions mises en évidence par les premières analyses de sûreté.

À l'issue de cette nouvelle étape d'approfondissement et d'acquisition des connaissances depuis la surface, fin 2001, l'Andra a établi un dossier intermédiaire qui fait le point sur l'état des connaissances et procède à une première évaluation de sûreté afin d'identifier les éléments de stockage et les phénomènes naturels sur lesquels porter les efforts en vue d'établir en 2005 la faisabilité du stockage géologique profond dans la formation du Callovo-Oxfordien en Meuse/Haute-Marne.

Ce dossier a fait l'objet, comme pour le dossier précédent, d'une instruction mais également, à la demande des ministères de tutelle de l'Andra, d'une revue internationale par les pairs est organisée en parallèle entre octobre 2002 et février 2003 pour évaluer le programme de l'Andra au regard des pratiques internationales. Cette revue, organisée par l'AEN, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE était constituée d'experts internationaux issus soit d'organismes homologues de l'Andra, soit d'organismes de recherche ou d'appuis techniques d'autorités de sûreté. La revue a émis un avis général (129), notamment sur la qualité de la documentation et la manière dont le programme de recherche se situait par rapport aux standards internationaux. Elle a également émis des recommandations sur un certain nombre de points techniques particuliers.

Par ailleurs en 2004, le fonçage du puits d'accès principal atteint la formation du Callovo-Oxfordien. Le creusement de la galerie d'expérimentation à −445 mètres permet d'engager les premières caractérisation et expérimentations *in situ* dans le Callovo-Oxfordien[132]. Par la suite, le fonçage des puits reprend, pour atteindre en 2005 le niveau d'implantation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne au milieu de la couche du Callovo-Oxfordien, puis engager le creusement des galeries horizontales issues des deux puits qui se rejoignent à fin 2005.

Synthèse – La préparation du dossier de faisabilité

Les évaluations de sûreté menées en 2001 par l'Andra ont identifié les composants du stockage et les phénomènes naturels sur lesquels porter les efforts de conception : par exemple la caractérisation renforcée du milieu géologique, l'étude des scellements des ouvrages d'accès au stockage…

Ces évaluations ont fait l'objet d'examens détaillés par les évaluateurs, notamment une revue internationale par les pairs menée sous l'égide de l'OCDE/AEN (129), qui ont conforté ou précisé les orientations pour la suite des études et recherches. Cela a conduit l'Andra à, notamment renforcer les interfaces entre, d'une part l'ingénierie et la sûreté, d'autre part la recherche et la sûreté.

Les recommandations des évaluations ont été prises en compte dans la définition des priorités du programme d'études et de recherches. Elles ont également nourri la réflexion sur l'organisation de la documentation du dossier 2005 relatif à la faisabilité du stockage géologique profond.

[132] Ces premières caractérisation et expériences *in situ* dans le Callovo-Oxfordien ont bénéficié des acquis des Laboratoires de recherche souterrain déjà existants dans des formations argileuses (Mont Terri en Suisse et Mol en Belgique). Dans le cadre d'une coopération internationale étroite, les équipes de l'Andra ont pu se former et engager des expérimentations dans ces Laboratoires, et ainsi être très rapidement opérationnelles pour le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne. Ceci a permis d'apporter très rapidement les connaissances nécessaires pour le dossier de faisabilité du stockage en 2005.

2.5.2.6 Soumettre le dossier de faisabilité de 2005

En 2005, au terme de quinze années de recherches réalisées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 (50), et de plusieurs itérations de sûreté ponctuées par des instructions menées par l'ASN, l'Andra a produit le « Dossier 2005 » relatif à la faisabilité de principe d'un stockage réversible des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue dans la formation du Callovo-Oxfordien étudiée au moyen du Laboratoire de recherche souterrain en Meuse/Haute-Marne (80).

L'objet du dossier 2005, dit Dossier « 2005 argile », était d'évaluer la faisabilité du stockage dans la formation géologique donnée du Callovo-Oxfordien. À ce titre, elle traite bien évidemment de la sûreté du stockage, partie intégrante de la faisabilité, en premier lieu après fermeture, objectif fondamental du stockage géologique mais aussi pendant son fonctionnement. Elle s'est appuyée sur les données recueillies sur le site du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, mais aussi celles acquises dans d'autres formations argileuses (en Suisse dans le Laboratoire souterrain du Mont Terri et en Belgique dans le Laboratoire souterrain HADES à Mol). Ce site est celui qui a, par nature même, fait l'objet de la reconnaissance la plus détaillée. L'Andra s'est cependant assurée que les grandes caractéristiques du Callovo-Oxfordien, observées au niveau du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, étaient extrapolables à une zone plus large, dite « zone de transposition » d'environ 250 km^2 définie autour du Laboratoire de recherche souterrain et reconnues par différents moyens comme indiqués plus avant (forages, sismique…). Cette transposabilité est le gage que les résultats obtenus ne sont pas dépendants des spécificités d'une zone de faible dimension.

Au stade du dossier 2005, l'objectif de la démonstration de faisabilité était de montrer l'existence de solutions techniques pour la création d'un stockage réversible et sûr, avec les moyens techniques du moment, ces solutions pouvant par la suite évoluer et être optimisées, en particulier au plan de la sûreté d'exploitation et de la radioprotection. Le positionnement du stockage était fixé au sein de la zone de transposition. Le dossier 2005 a distingué deux phases de vie du stockage et conduit deux analyses de sûreté, complémentaires : l'une relative à l'exploitation du stockage, l'autre relative à l'après fermeture liée à la spécificité de celui-ci.

Les performances du stockage dans son ensemble et par composants, ont été évaluées. Une évaluation de l'impact en terme de dose a aussi été menée pour des scénarios (cf. Chapitre 2.5.2 du présent volume) montrant notamment que l'impact respectait les objectifs de protection fixés par la RFS III.2.f (81) (par exemple 0,25 mSv/an pour le scénario d'évolution normale).

Le dossier 2005 s'est notamment attaché à évaluer les risques en exploitation, d'origine interne ou externe, les plus significatifs d'un stockage impliquant les colis de déchets radioactifs, en particulier pour l'installation souterraine. Pour cela, des études de scénarios accidentels ont permis d'évaluer le risque de dissémination de la radioactivité en cas de chute de colis, d'incendie d'un camion transportant des colis, d'explosion due au relâchement d'hydrogène (H_2). Ces études ont été parfois complétées par des essais.

Tous ces travaux ont permis de vérifier au stade d'un dossier de faisabilité du projet de stockage, la capacité à réduire les risques en exploitation et gérer les conséquences des incertitudes sur le long terme à un niveau aussi bas que possible en l'état actuel des connaissances et techniques disponibles du moment.

Ce dossier a fait l'objet d'une instruction technique par les experts de l'IRSN à la demande de l'ASN, ainsi que d'une revue internationale d'experts menée sous l'égide de l'AEN à la demande des ministères de tutelle de l'Andra (84).

Synthèse – La soumission du dossier de faisabilité

Le dossier de faisabilité de 2005 (80) constitue l'aboutissement d'un cycle d'itérations de sûreté s'appuyant d'une part sur les acquis de connaissances fondés sur un important programme d'études et de recherches menés depuis 1991 et des premiers acquis du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, et d'autre part sur les premiers éléments de conception et les évaluations de sûreté associées.

Les acquis de connaissances scientifiques et technologiques et les différentes itérations « sûreté/connaissances/conception » réalisés pendant 15 ans ont permis de démontrer que la formation du Callovo-Oxfordien réunit des propriétés favorables au confinement des radionucléides (forte épaisseur, faible

perméabilité, faible diffusion des éléments en solution, forte capacité de rétention...), ce qui sous-tend l'objet du stockage géologique, mais aussi la construction d'ouvrages souterrains et leur tenue durant la période d'exploitation.

Ces acquis ont étayé les évaluations de sûreté qui ont notamment montré l'atteinte de l'objectif fondamental de protection de l'environnement et des personnes, et la robustesse de la sûreté à long terme. La grande majorité des radionucléides contenus dans les colis de déchets reste dans le stockage ou dans le Callovo-Oxfordien en champ proche de la zone de stockage souterrain. Seuls quelques radionucléides, ceux mobiles à vie longue, l'Iode 129 et le Chlore 36, peuvent migrer au sein du Callovo-Oxfordien et atteindre ses formations sus et sous-jacentes, mais de manière très lente (plusieurs centaines de milliers d'années) et diluée dans le temps fait des propriétés du Callovo-Oxfordien.

À l'issue de l'instruction du dossier de faisabilité de 2005, l'ASN en application de la loi du 30 décembre 1991 sur la gestion des déchets radioactifs (50), a rendu son avis relatif à la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse (49). L'ASN a mentionné dans son avis que *« Ces examens mettent en évidence que des résultats majeurs relatifs à la faisabilité et à la sûreté d'un stockage ont été acquis sur le site de Bure »* et que *« les principes présentés par l'ANDRA, devraient répondre, à court et à long terme, aux objectifs radiologiques de la RFS III.2.f »*.

Ainsi, l'ASN considère que « le stockage en couche géologique est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable ».

L'étape de 2005 n'étant que le début du chemin à parcourir vers la mise en œuvre industrielle d'une installation de stockage, l'Andra a identifié à l'issue de cette étape de faisabilité les éléments à approfondir pour conduire à une réalisation industrielle. Dans son avis, L'ASN a également noté que l'Andra devra poursuivre les expérimentations dans le Laboratoire souterrain (*i.e.* Comportement mécanique de la roche en lien avec les techniques de creusement) et développer la reconnaissance en vue de rechercher l'emplacement favorable à l'implantation d'une éventuelle installation de stockage dans la zone de transposition. Elle a aussi identifié le besoin de poursuivre la définition de la conception et les évaluations de sûreté notamment pendant son fonctionnement en lien avec le développement industriel du projet en vue d'une demande de création d'une installation de stockage

2.5.2.7 Proposer le choix du site d'implantation des futures installations et de la zone de reconnaissance approfondie de la couche de Callovo-Oxfordien

En 2009, l'Andra a proposé au Gouvernement un document relatif à la proposition d'une zone plus restreinte au sein de la zone de transposition de 250 km² qui avait été retenue au stade de la faisabilité (80), dite « zone dite d'intérêt pour la reconnaissance approfondie » (ZIRA), d'environ 30 km², pour l'implantation de l'installation souterraine, et des scénarios d'implantation des installations en surface (68).

Le choix des implantations des installations du centre de stockage Cigéo (surface et souterrain) résulte d'une démarche progressive menée depuis 2006 jusqu'à cette étape importante en 2009. Pour les définir, l'Andra a tenu compte de critères liés à la sûreté (cf. Guide de sûreté de l'ASN de 2008 (43)) et à la nature de la couche géologique, mais aussi des vœux formulés par les populations et les élus locaux notamment en matière d'aménagement du territoire et d'insertion locale, en concertation notamment avec les parties prenantes de Meuse et de Haute-Marne.

La définition en 2009 de cette zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie pour l'installation fond et de scénarios d'implantation des installations en surface est une étape importante du développement de la conception du centre de stockage Cigéo.

Synthèse - Le choix du site d'implantation du centre de stockage Cigéo

Le 5 janvier 2010, l'ASN a rendu un avis au Ministre d'État, Ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer et au Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche sur le document de l'Andra concernant une proposition d'une zone pour l'implantation de l'installation souterraines et de scénarios pour l'implantation des installations de surface (68, 97). Dans son avis, l'ASN estimait que les critères retenus par l'Andra pour choisir la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) étaient pertinents et cohérents avec le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde de 2008 (43).

L'ASN a estimé que la localisation proposée par l'Andra pour la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) était satisfaisante du point de vue de la sûreté et n'avait pas d'objection à la réalisation des travaux de reconnaissance prévus par l'Andra dans cette zone.

En 2010, après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et de la Commission nationale d'évaluation (CNE), le Gouvernement a validé ce choix (130). Depuis, les études et recherches se sont poursuivies et ont confirmé que la couche argileuse située dans la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) est propice et répond aux critères pour l'installation du centre de stockage profond.

2.5.2.8 Accompagner le développement progressif de la conception du centre de stockage Cigéo en vue de la demande d'autorisation de création

À partir de 2006, l'Andra a poursuivi le développement de la conception, renforcé ses connaissances sur les caractéristiques et le comportement dans le temps des composants du stockage et du milieu géologique, notamment le Callovo-Oxfordien (77, 97), et mené les évaluations de sûreté associées.

Au fur et à mesure des avancées, l'ASN a également continué à rendre des avis sur les dossiers que l'Andra lui a remis.

Ainsi, en cohérence avec la proposition de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) pour l'implantation de l'installation souterraine et des scénarios d'implantation des installations de surface, dans le cadre des actions demandées par le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs qui encadre la mise en place des filières de gestion des matières et déchets radioactifs en France, l'Andra a remis un dossier dénommé « Jalon (ou Étape) 2009 » développant les premières options de conception, de réversibilité et de sûreté (131–133) et qui a fait l'objet de l'avis de l'ASN n° 2011-AV-129 du 26 juillet 2011 (134). Dans cet avis, l'ASN mentionne que l'Andra a *« développé depuis le dossier remis en 2005 (80) les principales dispositions de conception, de sûreté et de réversibilité permettant de maîtriser les risques pendant l'exploitation du stockage »*. L'ASN a par ailleurs souligné certains axes à préciser ou développer concernant la maîtrise des risques en exploitation ou après fermeture du stockage, en vue d'une demande d'autorisation de création.

Sur la base de la validation par le gouvernement de la proposition de l'Andra pour la zone d'implantation de l'installation fond et du choix de deux zones d'implantation pour les installations de surface (130), l'un dite zone descenderie située en Haute-Marne et l'autre dite zone puits située en Meuse au droit de la zone d'implantation de l'installation souterraine, et de l'avis de l'ASN sur le dossier 2009 de l'Andra, en 2011, l'Andra a engagé la phase de conception industrielle du projet global Cigéo. Elle se déroule en plusieurs étapes clés dont une phase d'esquisse, une phase d'avant-projet-sommaire puis une phase d'avant-projet-détaillé, en vue de la future demande d'autorisation.

Entre 2011 et 2013, l'Andra a émis des dossiers intermédiaires qui ont fait l'objet d'instructions sous l'égide de l'ASN par son appui technique l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Ces dossiers portaient sur les données d'entrées et les premiers éléments de conception et de sûreté au stade de l'esquisse.

Suite à l'instruction techniques de ces dossiers, l'ASN a émis entre 2013 et 2014 des avis dans lesquels elle a pris position et formulé des demandes complémentaires à l'Andra en vue du dossier d'options de sûreté (DOS) ainsi que pour la future demande d'autorisation de création (135–138).

Synthèse - Le développement progressif de la conception du centre de stockage Cigéo

Les itérations de sûreté en lien avec l'avancée du développement industriel de la conception du centre de stockage Cigéo et des études et recherches menées notamment au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont permis :

- de développer la conception du centre de stockage ;
- de conforter les acquis sur la couche de Callovo-Oxfordien et le comportement du stockage ;
- de mener des évaluations de sûreté associées.

Et ainsi d'établir les options de sûreté constituant une étape clé vers la demande d'autorisation de création.

2.5.2.9 Soumettre le dossier d'options de sûreté (DOS) - une étape clé qui a permis la demande d'autorisation de création

Le 5 mai 2014, à la suite du débat public de 2013 sur le projet « Cigéo », le conseil d'administration de l'Andra a indiqué par délibération que *« l'Andra remettra à l'État un ensemble de documents constitué d'une proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo, du dossier d'options de sûreté et du dossier d'options techniques de récupérabilité pour préparer l'instruction de la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo »*.

Le 19 décembre 2014, l'ASN a par ailleurs formulé ses attentes vis-à-vis des options de sûreté du centre de stockage Cigéo (128). Il est notamment mentionné que le dossier d'options de sûreté (DOS) devra *« présenter explicitement les objectifs, concepts et principes retenus afin d'assurer la sûreté de l'installation en exploitation [..]. Ces demandes sont complétées […] par une liste détaillée des éléments nécessaires pour que l'instruction du dossier d'options de sûreté puisse être valablement menée. La création d'une installation nucléaire impose la réalisation d'un dossier « d'autorisation de création »* (DAC) visant à assurer la sûreté des installations au regard de l'environnement et de la santé humaine. Cette instruction s'inscrit dans le processus de conception de l'installation, de manière itérative (cf. Figure 2-67).

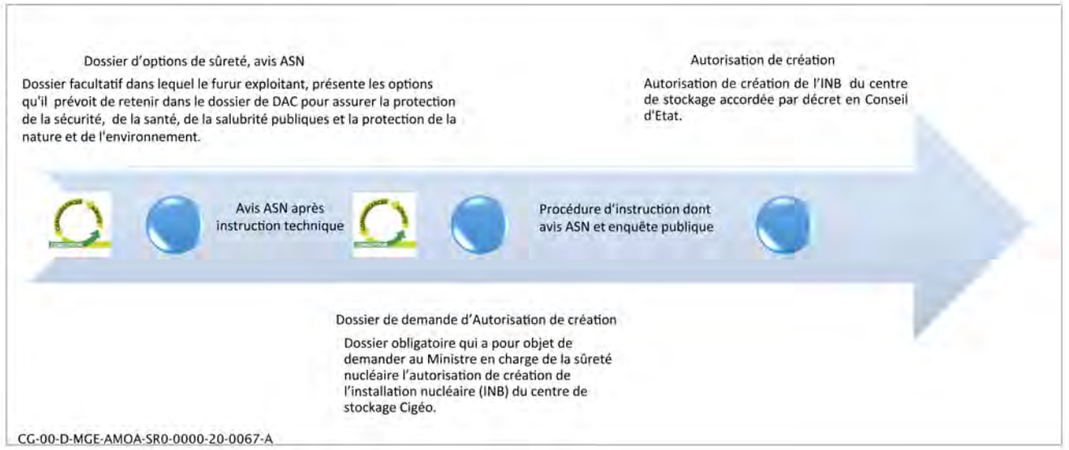


Figure 2-67 Du dossier d'options de sûreté (DOS) vers l'autorisation de création de l'installation nucléaire (INB) du centre de stockage Cigéo

La réglementation n'impose pas la fourniture d'un dossier d'options de sûreté (DOS) ni son contenu. Toutefois, celui-ci prépare la réalisation de la « version préliminaire du rapport de sûreté », pièce réglementaire du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) exigée par l'article R. 593-18 du code de l'environnement (14).

L'Andra a remis en avril 2016 à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) un « Dossier d'options de sûreté » (DOS) sur le projet de centre de stockage de déchets radioactifs pour les déchets de haute activité (HA) et moyenne activité à vie longue (MA-VL) dit centre de stockage Cigéo (69, 79). L'Andra a estimé qu'il s'agissait d'une étape importante dans le développement progressif de la conception du centre de stockage Cigéo avant le dépôt de la demande d'autorisation de création.

La sûreté étant au cœur du projet porté par l'Andra, le Dossier d'options de sûreté permet de stabiliser les grands principes, méthodes et choix de conception pour conduire la future démonstration de sûreté qui sera analysée par l'ASN dans le cadre de la demande d'autorisation de création.

Le « Dossier d'options de sûreté » (DOS) a fait l'objet d'une instruction approfondie par l'IRSN pilotée par l'ASN. Au terme de cette instruction, l'ASN a formulé un avis en 2018 (Avis 2018-AV-0300 du 11 janvier 2018 (76)) et a identifié les compléments attendus pour le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo. Par ailleurs, il a fait l'objet d'un avis du groupe permanent d'experts pour les déchets et d'une revue internationale de pairs mandatée par l'ASN et pilotée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Cette revue internationale a donné lieu à un avis au mois de novembre 2016 (100)

qui souligne que « *le contenu du DOS et les discussions engagées au cours de la mission ont donné à l'équipe de revue une assurance raisonnable quant à la robustesse du concept de stockage* ».

. Suite à l'avis 2020-79 de l'Autorité environnementale sur la présente étude d'impact (141), l'Andra a préparé une synthèse de ces options de sûreté du centre de stockage Cigéo dans le mémoire en réponse à l'avis de l'Autorité environnementale, annexe 1 de la « Pièce 8 - Étude de maitrise des risques » du dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo (2).

L'ASN souligne qu'un grand nombre de sujets sont aujourd'hui maîtrisés, et en particulier indique que :

- l'Andra a acquis une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne qui confirme la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage et constitue une base de qualité en appui de la démonstration de sûreté ;
- la qualité des études et la constitution d'un ensemble important de connaissances sur l'évolution du comportement des composants du stockage (colis et matériaux métalliques, cimentaires et argileux).

L'ASN estime également que l'inventaire des déchets susceptibles d'être stockés dans le centre de stockage Cigéo est convenablement défini, et que le développement progressif de l'installation est un point positif. Enfin, l'ASN a identifié des sujets nécessitant une attention particulière et qui restent à approfondir et à consolider d'ici la demande d'autorisation :

- les déchets enrobés bitumés qui revêtent un caractère singulier par rapport aux autres déchets : l'ASN a demandé que des études complémentaires soient menées en vue d'une future prise de décision quant à leur gestion ;
- les éléments qui justifient les choix en matière d'architecture : à la fois les critères techniques (sûreté après fermeture et en exploitation, besoins de l'exploitation, sécurité, coût…), mais aussi les critères d'insertion territoriale ;
- la justification du dimensionnement de l'installation aux agressions notamment les différents éléments et arguments qui expliquent et justifient la manière dont les aléas ont été déterminés ;
- la surveillance de l'installation, en particulier l'approfondissement des principes de la stratégie de surveillance de l'installation ;
- la gestion des situations post-accidentelles.

Les points soulevés ont été intégrés dans les études afin d'apporter les réponses dans le dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo.

Synthèse – La soumission du dossier d'options de sûreté (DOS)

Dans son avis du 11 janvier 2018 (67), l'ASN considère « *que le projet global Cigéo a atteint dans son ensemble une maturité technique satisfaisante au stade du dossier d'options de sûreté. Elle estime aussi que le dossier d'options de sûreté est documenté et étayé et constitue une avancée significative par rapport aux précédents dossiers ayant fait l'objet d'avis de l'ASN.* »

Dans cet avis, l'ASN considère cependant que « *certains sujets du dossier d'options de sûreté nécessitent des compléments en vue de la demande d'autorisation de création que l'Andra prévoit de déposer en 2019* » et précise les compléments demandés dont en particulier « *la justification de l'architecture de stockage, le dimensionnement de l'installation pour résister aux aléas naturels, la surveillance de l'installation et la gestion des situations post-accidentelles.* »

L'ASN dans sa lettre de suite à l'Andra (128) souligne des options de sûreté satisfaisantes et précise les études et justifications complémentaires nécessaires à la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo.

Ainsi, cet avis de l'ASN sur le « *dossier d'options de sûreté- Cigéo* » publié le 12 janvier 2018 constitue la feuille de route de l'Andra jusqu'à la demande d'autorisation de création.

2.5.2.10 Soumettre le dossier d'autorisation de création de l'INB Cigéo - une étape clé pour le démarrage de la phase de construction initiale de l'INB avant sa mise en service

Dans la continuité des options de sûreté et en vue de la demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo, l'Andra a poursuivi les études de conception, de consolidation de la connaissance et ses évaluations de la sûreté en exploitation et après fermeture long terme en phase d'avant-projet. Ces études visent notamment à apporter les éléments complémentaires de connaissances, de conception et de sûreté annoncés dans les options de sûreté et les réponses aux demandes de compléments formulées par l'ASN à l'issue de l'instruction des options de sûreté (lette de suite du 12 Janvier 2018 (98)).

L'itération entre la connaissance/conception/sûreté menée depuis le dossier d'options de sûreté constitue une étape clé dans le développement progressif du projet (cf. Figure 2-69) puisqu'elle est associée à la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo.

Le dossier en support à cette demande s'appuie sur tous les éléments (scientifiques et technologiques, conception, sûreté) déjà acquis lors des itérations de sûreté précédente.

Le dossier de demande d'autorisation de création constitué des pièces mentionnées dans la Figure 2-68 ci-dessous s'attache, d'une part, à conforter ces acquis et à apporter les compléments d'études, d'autre part, à répondre aux demandes formulées par l'ASN et aux engagements pris par l'Andra suite à l'instruction du dossier d'options de sûreté.

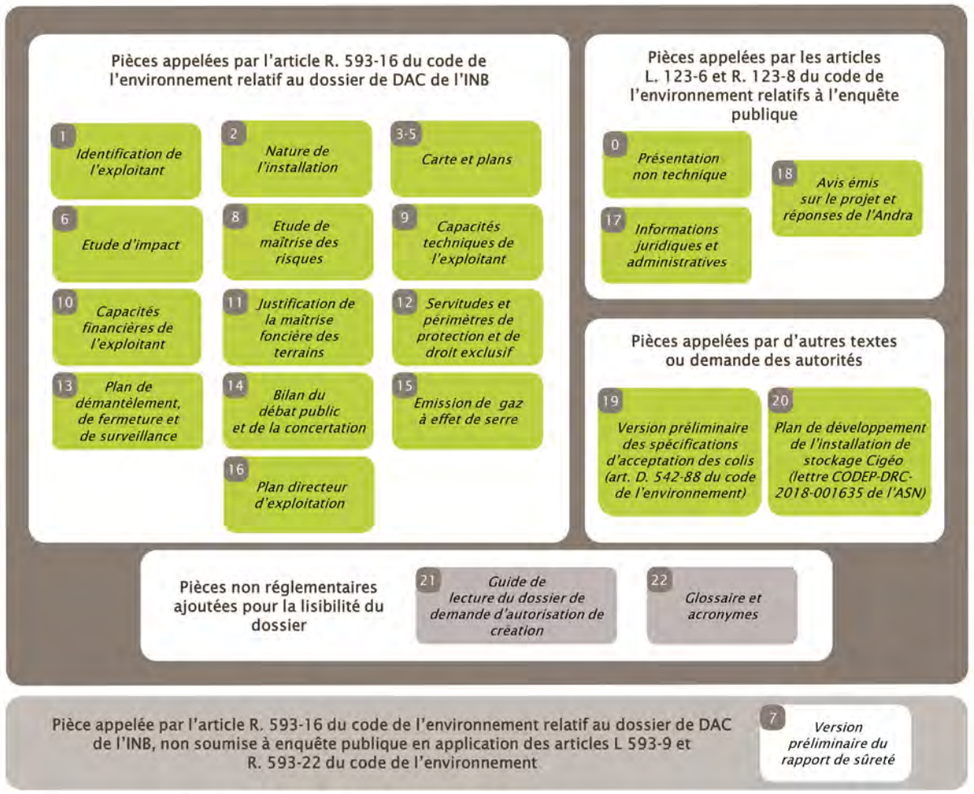


Figure 2-68 Contenu du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo

Le niveau de détail est en lien avec le développement progressif de l'INB Cigéo, notamment la mise en service progressive de son installation souterraine.

Conformément à la règlementation, en particulier au code de l'environnement (articles R. 593-14 à R. 593-28), le dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo, incluant les éléments relatifs à la sureté des installations, fera l'objet d'une instruction par l'Autorité de sûreté nucléaire.

LE DECRET D'AUTORISATION DE CRÉATION DE L'INB CIGEO

À l'issue du processus d'instruction selon les principes du code de l'environnement, si l'autorisation de création de l'installation est délivrée, celle-ci sera prise par décret en Conseil d'État après avis de l'ASN.

Dans ce décret, des prescriptions relatives à la conception, à la construction ou à l'exploitation de l'installation seront édictées. Le décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire du centre de stockage Cigéo, constituera un jalon décisionnel clé de son développement progressif.

2.5.2.11 Prendre en compte les itérations de sûreté ultérieures : la mise en service puis les réexamens périodiques

Sous réserve que l'autorisation de création de l'INB Cigéo soit délivrée par décret, la construction de ses installations pourra alors démarrer, y compris celle des premiers ouvrages souterrains.

Ensuite, et préalablement à la première prise en charge et mise en stockage de colis de déchets radioactifs, l'Andra constituera un nouveau dossier comprenant les compléments apportés du point de vue de la sûreté notamment sur la base du retour d'expérience de la construction et des avancées sur la conception. Ce dossier sera soumis de nouveau à l'Autorité de sûreté nucléaire afin d'obtenir l'autorisation de mise en service de l'installation.

Ainsi les principaux prochains jalons décisionnels identifiés par l'Andra sont les suivants :

- l'autorisation de la mise en service délivrée par l'ASN au cours de la Phipilz :
- l'autorisation de mise en service de la phase qui suivra la Phipil, après instruction d'un dossier produit par l'Andra conformément aux orientations du Parlement :
  - ✓ si le Parlement décide de poursuivre le déploiement et l'exploitation du centre de stockage Cigéo, l'Andra préparera un dossier de demande de mise en service de la phase suivante, tenant compte des nouvelles orientations prévues par la loi. Cette autorisation de mise en service sera délivrée par l'ASN ;
  - ✓ si le Parlement décide de ne pas poursuivre l'exploitation du centre de stockage Cigéo et de mettre fin au stockage pour tout ou partie des déchets HA et MA-VL, l'Andra préparera un dossier de demande de décret de démantèlement et de fermeture, totale ou partielle, du centre de stockage Cigéo qu'elle transmettra aux autorités. Le centre sera modifié et fermé définitivement conformément aux prescriptions de l'autorisation de l'ASN ;
  - ✓ la surveillance de l'installation sera modifiée et approfondie en réponse aux objectifs et orientations de cette nouvelle phase, quelle que soit sa nature.

Pour l'ensemble de ces jalons, les éléments issus de la phase industrielle pilote constitueront des données essentielles. Les objectifs de cette phase industrielle pilote et les enseignements attendus au regard de ces jalons décisionnels ont été précisés au chapitre 4.2 du présent volume. Cette phase a pour objectif de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais *in situ*. Elle inclut notamment des essais de récupérabilité des colis. Les objectifs de cette phase industrielle pilote ont par ailleurs été complétés par les résultats de la concertation relative à ce sujet.

Au-delà de la phase industrielle pilote, le développement du centre de stockage Cigéo sera suivi d'autres jalons, successifs, s'inscrivant dans la même logique de progressivité.

En lien avec ces autorisations successives, l'Andra prépare un Plan de développement de l'installation de stockage (PDIS) qui est joint au dossier de demande d'autorisation de création de l'INB; il s'agit de la « Pièce 20 » du présent dossier de la demande d'autorisation de création (DAC) (144). Ce plan précise, en termes d'objectifs et de moyens associés, les éléments de connaissances, de développement de la conception et de justification mais aussi de la démonstration de sûreté complémentaires pour préparer la construction initiale, les mises en exploitation successives préparer, dès les premiers jalons de mise en œuvre du projet, le démantèlement et la fermeture (par exemple *via* la mise en place de démonstrateurs de scellements dès la construction initiale pour consolider les choix retenus).

Par ailleurs, tous les dix ans selon la règlementation actuelle, l'Andra devra procéder au réexamen périodique de son installation, en prenant en compte les meilleures pratiques internationales. Ce réexamen, instruit par l'ASN, devra permettre d'apprécier la situation de l'installation au regard des règles qui lui sont applicables et d'actualiser l'appréciation des risques ou inconvénients que l'installation présente, en tenant compte notamment de l'état de l'installation, de l'expérience acquise au cours de l'exploitation, de l'évolution des connaissances et des règles applicables aux installations similaires.

Toutes les étapes du développement, de la construction et du fonctionnement du stockage permettront d'intégrer à chaque étape les données acquises par la surveillance et d'intégrer les éventuelles avancées en matière de connaissances technologiques et scientifiques.

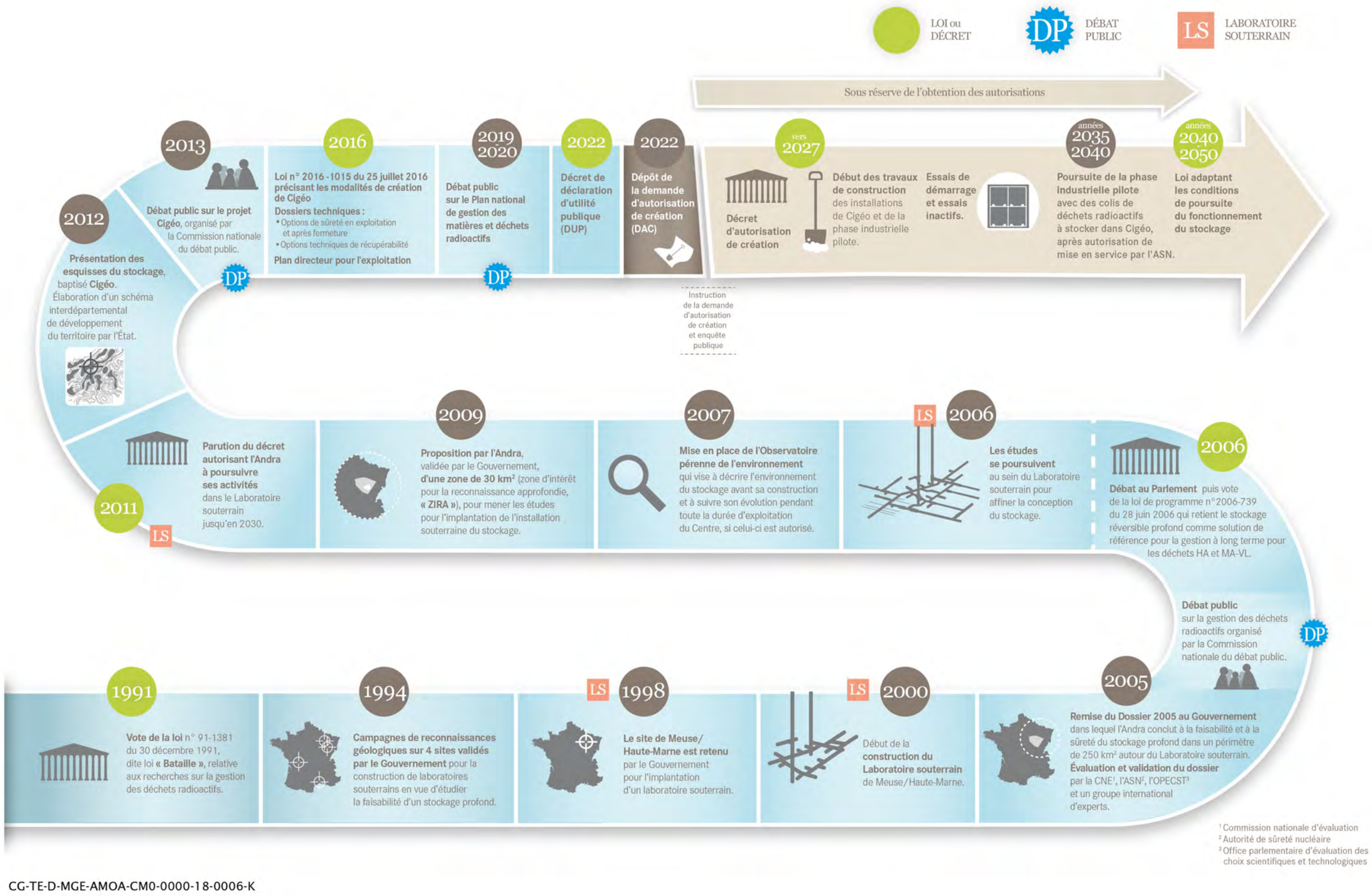


Figure 2-69 Le développement progressif du projet global Cigéo

2.5.2.12 Faire des optimisations technico-économiques sans dégrader le niveau de sûreté

Les études d'avant-projet du centre de stockage Cigéo, à partir duquel le dossier de demande d'autorisation de création de l'INB est rédigé, a été adapté ces dernières années pour intégrer des exercices périodiques d'optimisations technico-économiques tout en garantissant une sûreté optimale des installations.

Les principales optimisations apportées à la conception du centre de stockage Cigéo sont :

- la réduction du volume et de l'emprise du bâtiment de réception, contrôle et préparation des colis pour le stockage, ainsi que la réduction de son emprise ;
- l'allongement des alvéoles de stockage des colis de haute activité (HA) pour réduire leur nombre et la longueur des galeries qui les desservent ;
- l'évolution des alvéoles de stockage des colis de moyenne activité - vie longue (MA-VL), dont la forme a été simplifiée et dont le nombre a été réduit ;
- l'intégration de progrès technologiques en matière d'engins de creusement, par le déploiement de tunneliers plutôt que d'engins à attaque ponctuelle, afin d'améliorer la sécurité des travailleurs.

Les optimisations technico-économiques du centre de stockage Cigéo s'intègrent à un processus courant pour la conception des projets industriels. Elles se font sans remettre en question les exigences fondamentales du projet et sans diminuer son niveau de sûreté, c'est une donnée d'entrée de l'étude de ces optimisations. Outre ces optimisations, les évolutions de conception du projet de centre de stockage Cigéo intègrent également les retours des services instructeurs suite à l'examen du dossier d'options de sûreté (DOS) par l'ASN. Celle-ci sera amenée à évaluer ces optimisations dans le cadre de l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création.

2.5.3 Les choix de conception environnementale du centre de stockage Cigéo

2.5.3.1 La démarche de développement durable

Les études de conception du centre de stockage Cigéo font l'objet d'une démarche de développement durable. Le croisement des enjeux de développement Durable avec des orientations – contextuelles – de projet a permis de structurer la démarche en six grandes stratégies :

- valoriser l'identité du site et ses relations avec son environnement proche ;
- mettre en œuvre une approche globale « énergie-carbone » ;
- optimiser le cycle de l'eau ;
- intensifier la biodiversité et le paysage ;
- créer des ambiances amènes ;
- penser le temps long du projet.

Ces stratégies sont déclinées de façon globale d'abord à l'échelle de l'organisation globale du centre de stockage, de l'aménagement de ses zones descenderie et puits et de la zone d'implantation des ouvrages souterrains, de la liaison intersites et de l'installation terminale embranchée, et enfin à l'échelle des ouvrages et bâtiments individuels.

Par son ampleur et le tissu dans lequel il s'insère, la valorisation de l'identité du site et les relations avec l'environnement proche du centre de stockage appelle principalement à ;

- optimiser la ressource foncière pour réduire la consommation d'espaces ;
- traiter la perception du centre de stockage à distance et à proximité ;
- limiter les nuisances pendant les différentes phases de déploiement ;
- encourager les mobilités douces.

L'énergie doit être pensée dans sa globalité, à l'échelle spatiale et thématique. Des synergies avec le territoire et les programmes voisins sont recherchées, ainsi que des partages énergétiques entre activités complémentaires du centre de stockage. L'ensemble des dépenses énergétiques est pris en compte, notamment celles nécessaires à la construction, au fonctionnement et à la fermeture. Pour cela les objectifs généraux de l'approche globale « énergie-carbone » sont principalement de :

- limiter les émissions de gaz à effet de serre du projet tout au long du cycle de vie par une approche bas carbone globale (efficacité énergétique, béton bas carbone, cycle court des matériaux…) ;
- concevoir des aménagements et bâtiments dont les besoins en énergie sont évalués et limités sans porter préjudice à la qualité d'usage et au confort ;
- rechercher des solutions énergétiques qui profitent des ressources locales, limitent les émissions de gaz à effet de serre, créent des filières locales ;
- penser la performance dans une logique d'efficacité et de mutualisation des sources de production.

Dans le contexte local, notamment la sensibilité du contexte hydrologique, le cycle de l'eau est un enjeu essentiel. Il doit principalement permettre de :

- minimiser les besoins d'adduction en eau ;
- optimiser la récupération des eaux avec traitement qualitatif différencié ;
- maîtriser la qualité des rejets au milieu naturel ;
- de gérer les eaux pluviales au plus proche du cycle naturel de l'eau.

En matière de biodiversité et de paysage, il s'agit principalement de :

- préserver et renforcer la biodiversité locale en respectant le contexte écologique, en encourageant la continuité des milieux et en veillant à l'entretien et l'utilisation des espaces paysagers (adapter le parti paysager, choix des essences végétales…) ;
- développer l'aménagement paysager dans une démarche de qualification des espaces extérieurs communs, en accompagnement des constructions.

Pour le territoire comme pour le personnel, le cadre de vie et de travail que constitue le centre de stockage présente un enjeu particulier. Les ambiances au sein du site sont imaginées pour ses usagers. Les objectifs généraux correspondant sont principalement de :

- prendre en compte le contexte climatique local pour les aménagements ;
- garantir la qualité de vie par des dispositifs pérennes concourant au confort et à la qualité sanitaire des espaces et bâtiments (aménagements et vues, confort hygrothermique en hiver et en été…) ;
- penser la convivialité du projet et favoriser le lien social.

Compte tenu de sa durée séculaire de fonctionnement et de son objectif fondamental de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs sur le très long terme, le centre de stockage appelle une réflexion qui dépasse les logiques spatiales et temporelles usuelles des projets industriels. L'échelle temporelle immédiate doit être complétée et dépassée pour appréhender l'évolutivité du site et des activités qui y seront menées. Les objectifs principaux sont de :

- garantir l'évolutivité du site et de sa trame urbaine ;
- anticiper les évolutions et la mutabilité des usages (adaptabilité des infrastructures et des bâtiments) ;
- maîtriser les risques et la vulnérabilité du projet sur le long terme (durabilité, évolution climatique…).

2.5.3.2 L'approvisionnement en énergie

L'utilisation de l'énergie du centre de stockage Cigéo est présenté au chapitre 6.1.1 du présent volume.

S'inscrivant dans la démarche de transition énergétique, l'Andra développe des solutions techniques basées sur un « mix » énergétique minimisant l'utilisation d'énergie fossile pour satisfaire la demande du centre de stockage Cigéo. Les différentes sources de production d'énergie prennent en compte les spécificités des phases de vie (aménagements préalables, construction initiale et fonctionnement, cf. Chapitre 4.1 du présent volume). Elles sont adaptées en fonction des enjeux de sûreté et de la nature des installations les plus consommatrices d'énergie.

2.5.3.2.1 Le phasage des besoins en énergie

Les aménagements préalables sont définis au chapitre 5 du présent volume. Ils correspondent principalement aux premières opérations de défrichement, d'archéologie préventive, à la réalisation des terrassements, de clôtures et également à la construction des infrastructures associées à la desserte du projet et à son alimentation en énergie. Lors des premiers travaux, seule une quantité limitée d'énergie électrique est disponible *via* le réseau 20 kV local. Elle est utilisée pour l'alimentation des installations temporaires de chantier, pour l'éclairage, le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Des éclairages solaires sont dès que possible utilisés. Les engins, en particulier ceux de terrassement, sont actuellement équipés de moteurs thermiques fonctionnant au gasoil. Lors de la passation des marchés, les entreprises seront incitées à utiliser les engins et véhicules ayant recours à l'énergie la plus respectueuse de l'environnement, compte tenu des techniques disponibles.

La construction initiale correspond à la réalisation/construction des installations de surface et des premiers ouvrages souterrains. Lors de cette phase, l'énergie électrique sera disponible sur le site *via* la ligne « Très Haute Tension » (choix de RTE de se raccorder à la ligne 400 kV) et les équipements de distribution associés. L'énergie privilégiée est l'électricité pour la majorité des équipements servant aux travaux (centrale à béton, tunneliers, grues…) et pour les bandes transporteuses qui distribuent les matériaux de construction et les matériaux excavés. Des émissions de gaz à combustion sont ainsi évitées, ainsi que les risques associés aux importantes quantités d'hydrocarbures nécessaires au fonctionnement de ce type d'équipements, s'ils devaient fonctionner avec des moteurs thermiques. Les besoins pour l'éclairage du site et les installations temporaires de chantier sont également assurés principalement à partir du réseau électrique. Des éclairages solaires sont utilisés sur les zones de travaux et les cheminements. Pendant la construction initiale, des véhicules et engins de chantier à moteurs thermiques sont encore utilisés, mais en nombre réduit par rapport aux aménagements préalables. Lors de la passation des marchés les entreprises seront incitées à utiliser les engins et véhicules ayant recours à l'énergie la plus respectueuse de l'environnement compte tenu des techniques disponibles.

Le fonctionnement correspond à la mise en service progressive de l'installation jusqu'à l'atteinte de son régime nominal de fonctionnement, puis à son fonctionnement pour le stockage des colis de déchets. Les principales installations consommatrices d'énergie sont les installations du procédé nucléaire de manutention et de transfert des colis ainsi que la ventilation. Les travaux se poursuivent pour déployer graduellement l'installation souterraine. Dans les parties en cours de creusement, comme lors de la phase de construction initiale, les engins, véhicules, installations (centrales béton, bandes convoyeuses…) utilisés pour les travaux de creusement (tunneliers, convoyeurs…) sont alimentés par l'électricité. Les engins et véhicules (maintenance, intervention) sont autant que possible électriques.

2.5.3.2.2 L'alimentation en énergie électrique

Dans une installation nucléaire, l'alimentation en énergie des équipements de manutention et de transfert des colis de déchets radioactifs et les moteurs des ventilateurs doit être disponible et fiable pour assurer un fonctionnement sûr. De plus, afin de réduire les risques et les conséquences d'un éventuel incendie, la quantité de combustibles dans les installations nucléaires doit être aussi faible que possible.

Compte tenu des puissances nécessaires (environ 70 MVA et 50 MVA respectivement en phase de construction initiale et de fonctionnement) et du besoin de disponibilité (cinq jours consécutifs au plus d'indisponibilité quel que soit l'événement, pendant lesquels le centre de stockage est alimenté par ses moyens de secours), l'alimentation énergétique retenue est l'alimentation électrique à partir du réseau de transport d'électricité national (RTE). Les choix d'implantation des installations de RTE pour l'alimentation en électricité du centre de stockage Cigéo sont présentés au chapitre 2.4.2.2 du présent volume.

Comme le montre la figure 2-70, près de 30 % de l'électricité de la région Grand Est a été produite en 2018 en utilisant des énergies renouvelables.

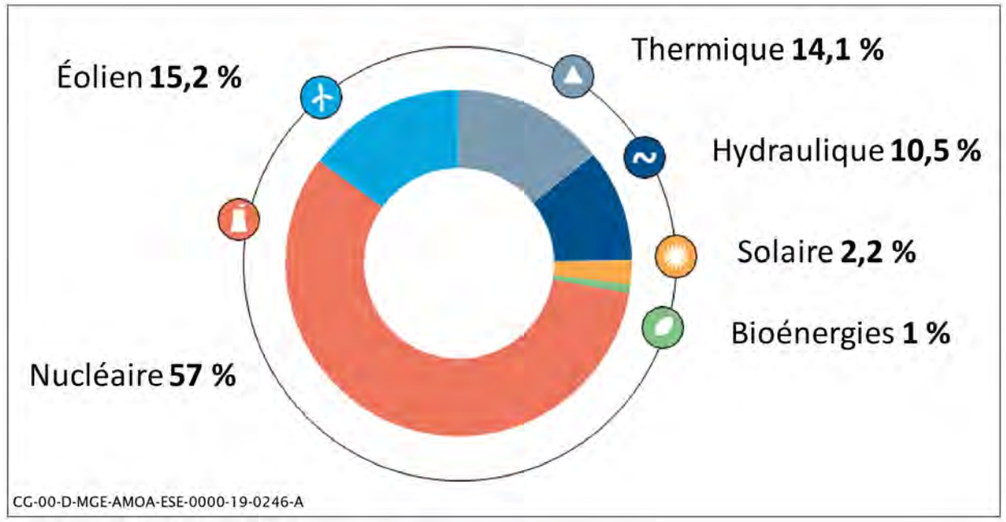


Figure 2-70 Origine de production d'électricité - Région Grand Est – 2018 [134]

Dans les bâtiments hors zones nucléaires (bâtiments tertiaires, restaurants…), les puissances nécessaires sont sans commune mesure et les équipements ne sont pas soumis aux mêmes exigences. Afin de s'inscrire dans la

[134] Source RTE

démarche de soutien et de développement des énergies renouvelables, des panneaux solaires sont installés sur les bâtiments tertiaires et participent à la fourniture d'électricité complémentaires pour ces bâtiments.

2.5.3.2.3 L'alimentation en énergie thermique

Pour garantir le bon fonctionnement des équipements et pour créer des conditions de travail satisfaisantes, la température de l'air de l'installation nucléaire de surface et des ouvrages souterrains doit être régulée. Les puissances maximales requises à terminaison sont :

- pour la zone descenderie (alimentation de l'installation nucléaire de surface) : 8,3 MW pour le chauffage et 7,5 MW pour le refroidissement ;
- pour la zone puits (alimentation des installations souterraines) : 3,8 MW pour le chauffage et 8,9 MW pour le refroidissement en zone puits.

Initialement la production d'eau chaude de chauffage était basée sur une énergie 100 % fossiles (gaz). Suivant sa démarche de développement durable, l'Andra a fait évoluer la conception du centre de stockage vers une solution d'alimentation en énergie thermique favorisant les énergies renouvelables.

Dans un premier temps, une étude d'opportunité est réalisée pour permettre d'identifier l'ensemble des énergies alternatives permettant la production de calories en substitution totale ou partielle aux énergies conventionnelles initialement envisagées. Les filières d'énergies alternatives envisagées sont les suivantes : récupération de calories sur le territoire, énergie solaire thermique, géothermie, méthanisation, bois énergie. Les critères d'évaluation pris en compte sont la part des énergies alternatives disponibles, les critères technique et exploitation (directement liés aux installations à mettre en œuvre), le critère environnemental, l'opportunité de développement à l'échelle du territoire, la sécurisation des approvisionnements et la pérennité de la ressource ainsi que le critère économique. Au regard de ces critères, les conclusions de cette étude montrent que les solutions « méthanisation » et « bois-énergie » étaient les plus opportunes pour la production de calories nécessaires au fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

L'utilisation pour le chauffage de l'air d'échangeurs électriques n'est pas réalisable. Cette solution technique présente un rendement faible et nécessite des surfaces d'échangeurs très conséquentes. Compte tenu du débit d'air à traiter (évalué à 300 $m^3.s^{-1}$), elle serait donc coûteuse et consommatrice en surface aménagée.

L'utilisation de la géothermie de faible profondeur est également écartée, compte tenu de la surface au sol qui serait nécessaire. Pour un bâtiment de surface nécessitant une puissance de chauffage de plus de 300 kW, il faudrait environ 16 km de sondes (soit 80 sondes réparties sur 5 ha) et pour 6 MW, il faudrait 300 km linéaires de sondes immergées (soit 1 500 sondes réparties sur une surface de 100 ha). De plus, la puissance thermique ne peut être garantie, car un phénomène de saturation du milieu risque d'apparaître.

L'utilisation de l'énergie solaire thermique nécessiterait plus de 20 000 m^2 de panneaux solaires thermiques (environ la surface de trois terrains de football). De plus, cette solution ne serait pas suffisante pour assurer la disponibilité, en particulier en période hivernale, de la puissance nécessaire au fonctionnement des équipements des installations industrielles. L'énergie solaire thermique, pour la production d'eau chaude sanitaire, fait néanmoins partie des solutions d'appoint à l'étude. Environ 600 m^2 de panneaux solaires, installés sur les bâtiments du centre de stockage Cigéo, permettent de répondre à 50 % des besoins en d'eau chaude sanitaire.

Une solution basée sur une distribution *via* un réseau de chaleur est donc recherchée pour réguler la température de l'air de l'installation nucléaire de surface et des ouvrages souterrains. Cette solution doit assurer une disponibilité importante et un fonctionnement flexible pour être compatible, d'une part avec le développement des installations du centre de stockage Cigéo et d'autre part avec les variations climatiques saisonnières sur toute la durée d'exploitation.

Compte tenu des quantités de carburant qui seraient nécessaires, des risques associés en termes d'incendie et des émissions de gaz à effet de serre qui seraient générées, la production de chaleur par chaudière au fioul n'est pas étudiée.

En concertation avec les acteurs du territoire, différentes solutions sont envisagées en cohérence avec la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). La chaleur peut être produite par :

- des fournisseurs de chaleur externes, c'est-à-dire des industriels dont le procédé génère un excès de chaleur ou des unités de production de chaleur, extérieures aux emprises du centre de stockage Cigéo ;
- des chaudières biomasse implantées sur le centre de stockage Cigéo, alimentées par du bois, associées à des chaudières gaz alimentées par un stockage d'appoint sur site en cas de variation de consommation.

Les réflexions et études en cours en lien avec les acteurs du territoire s'orientent vers le développement d'une solution combinant ces différentes sources de production de chaleur.

» LES PRINCIPAUX APPORTS DE LA CONCERTATION SUR L'ÉNERGIE RÉALISÉE EN 2019

Les échanges lors des réunions de concertation ont montré l'importance pour le territoire de développer les énergies vertes et d'intégrer aux études des solutions techniques envisageant la création d'unité de production de chaleur à l'extérieur des emprises du centre de stockage Cigéo.

Cette solution permettrait ainsi d'alimenter les collectivités proches et de faciliter l'installation d'industriels consommateurs de chaleur, sur le territoire.

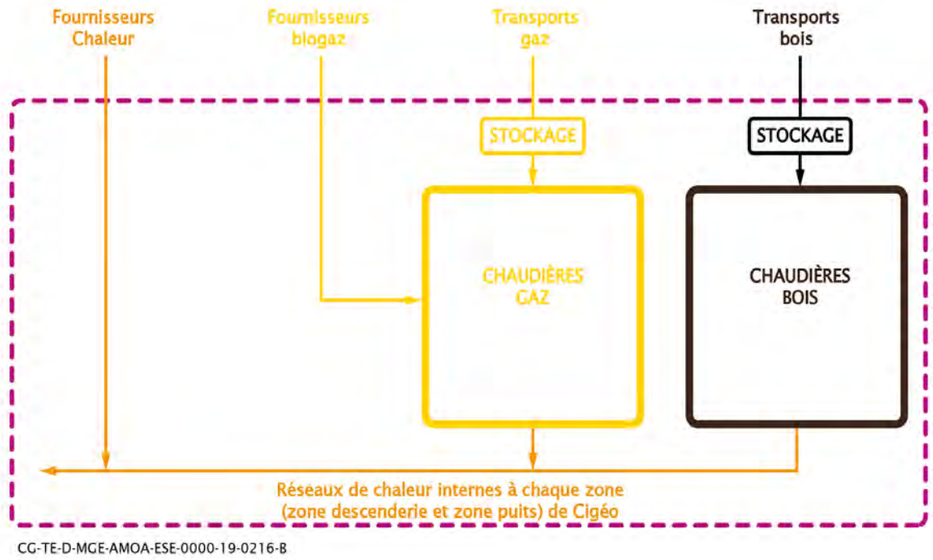


Figure 2-71 Les différentes options de production de chaleur par énergie thermique

Dans un second temps, les solutions « bois-énergie » et « méthanisation », sont comparées à une solution « 100 % fossile » sur la base des besoins thermiques du centre de stockage Cigéo.

Pour la « solution 100 % fossile », il est considéré que chacune des zones (respectivement zone descenderie et zone puits) est équipée de sa propre centrale de production de chaud et que la production d'eau chaude pour le chauffage est réalisée à partir de chaudières fonctionnant au gaz naturel (chaudières avec brûleurs de type bicombustible, pouvant fonctionner également au fioul domestique (FOD) en secours). Pour cette solution il est considéré que les calories sont transportées par des réseaux enterrés de chauffage qui alimentent chaque bâtiment des deux zones.

La « solution bois énergie » considérée est un scénario avec réalisation d'une chaufferie biomasse centralisée ou décentralisée par zones (respectivement sur la zone descenderie et la zone puits), permettant de remplacer environ 75 % des consommations de gaz fossile par du bois énergie. Ce scénario impose tout de même une énergie d'appoint/secours pour la production d'environ 25 % de calories restantes (par la connexion à un réseau de gaz à créer par exemple ou par l'approvisionnement *via* des stockages de gaz à prévoir sur le site). Il est par ailleurs noté qu'une solution centralisée pourrait d'ailleurs être portée par une entité extérieure au centre de stockage Cigéo et alimenter d'autres consommateurs du territoire.

Le bois énergie représente le potentiel énergétique liée à l'exploitation forestières. La ressource en bois énergie provient de rémanents[135] forestiers et bocagers ou de déchets de l'industrie du bois (scieries, fabrication de meubles, etc...). Ces déchets de bois sont transformés en énergie et deviennent du bois énergie. Ce bois énergie peut être transformé en chaleur ou, plus rarement, en électricité. La région Grand Est dispose d'une ressource forestière abondante et variée et que la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (loi du 17 août 2015 (145)) qui donne comme objectif d'atteindre 32 % d'énergie renouvelable à horizon 2030, se traduit dans la région Grand Est par la montée en puissance de la filière biomasse énergie.

La « solution méthanisation » proposée et répondant totalement à la demande thermique est un scénario en injection de biométhane dans le réseau de gaz. Ce scénario permettait de remplacer 100 % des consommations de gaz fossile par du biométhane et permettrait une très grande sécurité dans l'approvisionnement en énergie du site avec des disponibilités du réseau gaz très élevées.

La méthanisation est un procédé biologique de dégradation de la matière organique. Cette dégradation est réalisée par des micro-organismes en l'absence d'oxygène. Un gaz composé majoritairement de méthane appelé biogaz est produit et valorisé en énergie. Le résidu de cette transformation, le digestat[136], a une valeur agronomique et est valorisé au champ.

Le tableau ci-dessous présente une synthèse comparative de ces solutions.

Tableau 2-8 Synthèse comparative de solutions

	Solution 100 % fossile	Solution bois-énergie + appoint secours gaz	Solution méthanisation collective
Périmètre de la solution	Centre de stockage Cigéo (fonctionnement individuel)	Centre de stockage Cigéo ou territoire (fonctionnement individuel ou collectif)	Territoire (fonctionnement collectif)
Part des énergies renouvelables	0 %	≈ 75 % * les 25 % restants dépendront de l'énergie d'appoint/secours	100 % * si 60 000 T de biomasses méthanisables
Création directe d'emploi sur site	Référence	+ 1 emploi * hors emplois liés à la filaire biomasse	+ 9 emplois
Émissions de CO2 évitées	0 Tonnes	≈ 3 000 Tonnes	15 000 Tonnes* * l'unité de méthanisation produira plus de biogaz que les besoins totaux du centre de stockage Cigéo
Impact sur le territoire	La solution 100 % fossile nécessite la création d'un réseau de transport gaz qui pourra profiter à d'autres acteurs du territoire	La solution bois énergie permettra de structurer localement une filaire à la ressource abondante	En plus de la création d'un réseau de transport gaz, la solution méthanisation collective impliquera la création d'une société de projet indépendante du centre de stockage CIGÉO qui mobilisera de nombreux acteurs (collectivités, agriculteurs, etc.)

Au regard de cette analyse la « solution bois énergie avec appoint secours gaz » est retenue, considérant notamment que le scénario « méthanisation collective » imposerait de se connecter à un réseau de gaz qui n'est actuellement pas existant dans l'environnement du projet et nécessiterait de mobiliser environ 60 000 tonnes/an de biomasses méthanisables (gisement disponible non évalué à ce stade).

[135] Restes de branches ou de troncs mal calibrés pour une utilisation en bois d'œuvre. Ces produits sont le plus souvent considérés par les marchands de bois comme des déchets.

Deux solutions sont ensuite comparées à la « solution 100 % fossile » (100 % gaz naturel), la solution « bois-énergie avec deux chaudières » (une sur la zone descenderie et une sur la zone puits) et une « solution bois énergie avec une chaudière » pour l'ensemble des deux zones. Une solution avec une chaufferie délocalisée est écartée car aucun emplacement géographique possible.

L'Andra a organisé une concertation sur le volet énergie avec le territoire qui a abouti à retenir, dans le cadre du dossier de déclaration d'utilité publique, une « solution bois énergie avec appoint secours gaz » ; la solution retenue étant la création d'une chaufferie sur la zone descenderie et d'une chaufferie sur la zone puits, chacune associée à un stockage de gaz (pour les appoints).

Concernant la production d'eau chaude sanitaire, les chaufferies ne fonctionnant pas en période estivale, plusieurs solutions sont étudiées pour la production estivale. Dédier une chaudière gaz ou biomasse à la production d'eau chaude sanitaire en été est considéré inopportun car dans le cas d'un approvisionnement par un réseau centralisé, les pertes thermiques en ligne sont jugées trop importantes. La production *via* l'utilisation de panneaux solaires est finalement jugée comme étant la plus adaptée au projet lors des périodes estivales. La surface nécessaire en panneaux sera répartie sur les différentes toitures en fonction des besoins des bâtiments à alimenter. Le solaire étant intrinsèquement intermittent, des ballons de stockages adaptés seront mis en œuvre en local, pour permettre le stockage de la production solaire.

Par ailleurs, pour la réduction des émissions atmosphériques des chaudières biomasse, l'ANDRA envisage les choix technologiques suivants, en phase avec le contexte technique et économique du moment :

- l'utilisation de l'étagement de l'air de combustion qui réduit la formation de d'oxyde d'azote thermique ;
- l'utilisation d'un système de réduction sélective non catalytique (SNCR) qui réduit la formation d'oxyde d'azote ;
- l'utilisation d'un filtre à manches pour recueillir les cendres volantes.

2.5.3.3 L'adduction d'eau

Le centre de stockage Cigéo a des besoins en alimentation en eau potable variables en fonction du phasage du projet décrit au chapitre 6.1.2 du présent volume. Les pics de consommation d'eau potable sont estimés à environ 500 m³ par jour pour les phases des aménagements préalables et de construction initiale et à environ 200 m³ par jour pour la phase de fonctionnement.

Dès les études d'implantation des installations de surface du centre de stockage Cigéo, l'Andra s'est attachée à vérifier la disponibilité de la ressource en eau. Les besoins du projet ont été exposés aux différents syndicats de gestion des eaux et administrations présents sur le territoire.

Les options étudiées pour l'alimentation en eau potable du centre de stockage Cigéo sont la création de captages privés et l'utilisation de captages existants à proximité.

S'agissant de la création de captages privés, des essais ont été réalisés dans la vallée de la Marne, secteur choisi sur recommandation de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN) et de l'Agence régionale de santé (l'ARS). Ils ont montré qu'une ressource suffisamment productive existait à Curel. Toutefois, la zone de Curel est quasiment impossible à protéger d'une pollution potentielle (proximité immédiate d'une route départementale et d'un dépôt de fioul) et elle nécessite une longue canalisation jusqu'au plateau de Bure (supérieure à 10 km). Compte tenu des risques, des incidences environnementales des travaux et de l'absence d'effet positif d'un forage dédié au centre de stockage Cigéo pour la sécurisation de l'alimentation en eau potable des communes[137], cette alternative n'a pas été retenue pour des études plus approfondies.

S'agissant de l'utilisation de captages existants, une recherche a été faite en tenant compte de leur productivité, des tracés envisageables pour raccorder le centre de stockage Cigéo et de leur statut de protection. En effet, certains captages font l'objet de déclaration d'utilité publique de protection (DUP), délivrés par le Préfet, qui interdisent ou réglementent tous travaux, activités, dépôts, ouvrages, aménagement ou occupation des sols, à proximité des captages, qui seraient de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux.

[136] Le digestat est le résidu de la digestion des intrants d'un projet de méthanisation. Le choix des intrants influe sur la composition du digestat. La méthanisation minéralise une partie des éléments fertilisants et notamment le N (Azote), P (phosphore) et K (potassium). Ces éléments fertilisants N, P et K dimensionnent le futur plan d'épandage.

[137] L'aire d'étude éloignée pour le milieu physique est définie au chapitre 1.1 du volume III de la présente étude d'impact.

Le tableau 2-9 liste les captages d'adduction d'eau situés dans les environs du centre de stockage Cigéo (données à jour au 14 avril 2022).

Tableau 2-9 Liste des captages d'adduction en eau potable présents dans un rayon de 10 km des points de raccordements du centre de stockage Cigéo

Captages	Masses d'eau	N° de captage dans la banque de données du sous-sol d'Infoterre	Date de la DUP	Débits ($m^3.j^{-1}$)
Biencourt-sur-Orge (forage)	Calcaires du Barrois	02654X0015	07/06/2021	355
Bonnet (forage)	Kimméridgien-Oxfordien	02661X0021	04/03/1983	90
Chassey-Beaupré (forage)	Oxfordien supérieur	02655X0001	Sans DUP	45
Échenay (forage)	Orge/Kimméridgien-Oxfordien	02657X0007	05/12/2008	410
Échenay (source)		02657X0030		
Gondrecourt-Le-Château (forage)	Oxfordien supérieur	02662X0028	10/07/1983	1 200
Horville-en-Ornois (source)	Kimméridgien-Oxfordien	02665X0002	Sans DUP	-
Horville-en-Ornois (forage)	Kimméridgien-Oxfordien	02665X0031	Sans DUP	-
Houdelaincourt (source)	Alluvions/Calcaires du Barrois	02661X0004	Sans DUP	-
Montiers-sur-Saulx (forage)	Calcaires du Barrois	02653X0004	28/07/1983	110
Osne-en-Val (source)	Calcaires du Barrois	02656X0009	09/08/1985	Non déterminé
Ribeaucourt (forage)	Calcaires du Barrois	02654X0006	07/06/2021	450
Sailly (source)	Calcaires du Barrois	02657X0003	29/03/1981	-
Thonnance-Lès-Joinville (source)	Kimméridgien-Oxfordien	02656X0037	17/04/1987	400
Thonnance-Lès-Joinville (source)	Kimméridgien-Oxfordien	02656X0017	17/04/1987	200

Les captages de Thonnance-lès-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-Le-Château présentent de bonnes caractéristiques en termes de productivité. Ces captages sont utilisés par les syndicats des eaux et font l'objet de déclarations d'utilité publique de protection (DUP). Ils ont donc été retenus pour l'étude des solutions d'alimentation en eau en vue de couvrir les besoins des différentes phases de déploiement du centre de stockage Cigéo.

Les études des différents tracés envisageables et les différents tests de productivité des forages ont permis de confirmer la faisabilité, compte tenu de leur capacité, de l'utilisation de ces forages pour alimenter le centre de stockage Cigéo, sous réserve de la restructuration (remise en état ou optimisation) d'une partie des réseaux de distribution des syndicats des eaux. Elles montrent le besoin de sécurisation de l'alimentation en eau potable de communes justifiant l'interconnexion des différents réseaux pour assurer des ressources fiables et distinctes en termes de quantité et de qualité. Elles ont également fait émerger des opportunités d'amélioration de l'alimentation en eau pour les communes et l'intérêt de privilégier plutôt une alimentation directe depuis les sources du syndicat intercommunal d'adduction en eau potable (SIAEP) de Thonnance-lès-Joinville et du SIVU du Haut-Ornain vers le SIAEP d'Échenay.

Les études des différentes solutions de tracé sont en cours par les syndicats des eaux. Elles permettront d'actualiser les versions ultérieures de la présente étude d'impact.

2.5.3.4 La gestion des eaux et les rejets

2.5.3.4.1 Le contexte hydrologique et hydrogéologique du centre de stockage Cigéo

Le contexte hydrologique et hydrogéologique du territoire d'implantation du centre de stockage Cigéo est marqué par une grande complexité (milieu karstique, proximité de la nappe des calcaires du Barrois…) et par des enjeux forts (risques d'inondation des villages, cours d'eau locaux présentant des débits faibles et des assecs réguliers, présence de l'espace naturel sensible de l'Ormançon, présence de captages…).

Ainsi, il n'existe pas, à proximité immédiate du centre de stockage Cigéo, de cours d'eau pérenne pouvant être le milieu récepteur des rejets de l'installation. La construction d'une canalisation de rejets de plus de 10 km jusqu'à l'Ornain ou la Marne aurait des impacts environnementaux, une complexité technique et un coût que ne justifient pas les besoins liés au centre de stockage Cigéo. Les rejets doivent donc être réalisés dans les cours d'eau locaux et pour cela, ils doivent être adaptés à la capacité de réception, à la complexité et à la sensibilité du milieu local.

Des éléments complémentaires sur le contexte hydrogéologique local sont présentés au chapitre 5.2 du volume III de la présente étude d'impact.

» RECHERCHE ET ÉTUDE DE PLUSIEURS SOLUTIONS DE REJET DES EFFLUENTS CONVENTIONNELS

Plusieurs solutions alternatives concernant le rejet des effluents conventionnels ont été étudiées techniquement par l'Andra et ont fait l'objet d'échanges avec les parties prenantes lors d'une phase de concertation en 2018. Il s'agit des trois solutions alternatives suivantes :

- Solution A : le rejet déporté au moyen de canalisation sur une longue distance vers les cours d'eau permanent les plus proches du centre de stockage Cigéo, la Marne, l'Ornain ou la Saulx.

  Dans le cas de la Marne et de l'Ornain, la réalisation d'une conduite longue de plus de 15 km était nécessaire. Au regard de tous les impacts environnementaux nécessaires à sa construction (consommation de terres agricoles, impacts sur la biodiversité…) et les enjeux induits par sa conception (fonctionnement non gravitaire), son exploitation, sa protection et sa maintenance sur plus de 150 ans, cette solution n'a pas été jugée pertinente.

  Dans le cas de la Saulx, cours d'eau plus proche du centre de stockage Cigéo, les mêmes problématiques techniques étaient rencontrées et un projet de développement touristique de sa vallée était à l'étude. La solution A donc été abandonnée.
- Solution B : le dispositif comprenait une infiltration totale ou partielle des eaux pluviales et des effluents conventionnels dans le sous-sol et une réinjection vers les aquifères des eaux de rabattement de nappe.

  La conception du centre de stockage Cigéo privilégie la récupération des eaux produites par ses activités, puis leur réutilisation maximale, après traitement, pour les besoins ne nécessitant pas une eau potable au sens de la consommation humaine. Ainsi, la zone puits et la zone descenderie sont chacune équipées d'une station d'épuration pour traiter les eaux usées et industrielles de surface et d'un dispositif de traitement des eaux de fond (cf. Chapitre 2.5.3.4.4 du présent volume) recyclant ainsi les effluents pour réutilisation interne (fabrication des bétons, nettoyage, arrosage…).

  Par ailleurs, l'arrêté fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (INB) (146) prescrit, dans son article 4.1.12, que *« les rejets dans le sol et les eaux souterraines sont interdits, à l'exception des infiltrations éventuelles d'eaux pluviales dans les conditions définies aux articles 4.1.9 et 4.1.14 et des réinjections, dans leur nappe d'origine, d'eaux pompées lors de certains travaux de génie civil.* »

En outre, les formations géologiques de surface présentes au niveau de la zone puits et de la zone descenderie ne sont pas assez homogènes et présentent dans certains cas des couches imperméables qui ne permettent pas une infiltration ou une réinjection des eaux pluviales et des effluents conventionnels (cas de la formation du Kimméridgien au droit de la partie sud de la zone de descenderie).

Enfin, le choix de cette solution technique aurait pu être un frein à une possible modification des usages des masses d'eau souterraine concernées par le centre de stockage Cigéo (implantation sous condition restrictive de futurs captages). De plus, des réinjections auraient concerné le périmètre de protection éloignée du captage d'alimentation en eau potable (AEP) de Rupt en Nonain. La solution B a donc été abandonnée ;

- Solution C : le rejet local des eaux pluviales et des effluents conventionnels et plus particulièrement dans la Bureau et l'Orge pour la zone descenderie et dans l'Ormançon pour la zone puits.

  Le milieu naturel local présente des spécificités à prendre en compte (interface entre les masses d'eau superficielles et souterraines, période d'assec prolongé pour les 3 cours d'eau considérés), mais la définition d'un schéma de collecte, stockage, traitement et rejets des eaux pluviales et des effluents conventionnels vers ce dernier est techniquement possible tout en préservant les milieux aquatiques à toutes les phases du projet global Cigéo.

  La solution C d'un rejet à débit et qualité contrôlé dans le milieu local a donc été retenue compte tenu de son moindre impact relatif global dès lors qu'elle est associée à des dispositifs de traitement performants (147).

Ce contexte particulier a guidé la conception du centre de stockage Cigéo pour ce qui concerne la gestion des eaux et des rejets associés. Afin de réduire au maximum les nuisances et les risques pour l'Homme et l'environnement, l'Andra a conçu ces dispositifs de gestion des eaux de manière à s'assurer de :

- la non-aggravation des risques d'inondation pour les personnes et les biens ;
- la limitation au strict nécessaire des besoins en eau potable du centre de stockage Cigéo ;
- la préservation des milieux aquatiques par les rejets issus du centre de stockage Cigéo en distinguant :
  - ✓ les rejets des eaux pluviales et des effluents conventionnels ;
  - ✓ les rejets des effluents non conventionnels (contenant potentiellement des traces d'éléments radioactifs) ;
- la protection de l'installation nucléaire de base (INB) du centre de stockage et de l'environnement au regard du contexte hydrogéologique ;
- l'absence d'impact d'emprise sur les zones humides, principe de conception commun avec la préservation de la biodiversité.

Les principes de conception de la gestion des eaux et des rejets associés du centre de stockage Cigéo, décrits à la suite de ce chapitre, découlent de ces objectifs.

Pour le centre de stockage Cigéo, la conception des dispositifs, temporaires et définitifs, de gestion des eaux (collecte, stockage, traitement et rejet vers le milieu naturel) est conforme :

- à la réglementation applicable aux les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles d'avoir une incidence sur la ressource en eau (articles L. 214-1 et R. 214-1 et suivants du code de l'environnement) et pour les installations classées pour la protection de l'environnement (articles L. 512-1 et R. 512-1 et suivants du code de l'environnement) ;
- à la réglementation applicable et aux recommandations de l'Autorité de Sûreté Nucléaire relatives aux règles générales applicables aux installations nucléaires et notamment :
  - ✓ l'arrêté du 7 février 2012 (146) fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base ;
  - ✓ l'arrêté du 9 août 2013 (148) portant homologation de la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base ;
  - ✓ l'arrêté du 5 décembre 2016 (146) portant homologation de la décision n° 2016-DC-0569 (149) de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 septembre 2016 modifiant la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 (148) relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base ;
- la réglementation locale, notamment la prise en compte des plans de prévention des risques inondation, du SDAGE du Bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands, du règlement sanitaire départemental…

Les chapitres suivants détaillent ces principes de conception de conception environnementale suivis pour le centre de stockage Cigéo en vue de réduire son impact.

2.5.3.4.2 La non-aggravation des risques d'inondations pour les personnes et les biens

Le principe retenu est de ne pas augmenter les débits actuels des cours d'eau concernés par les rejets d'eau pluviales du centre de stockage Cigéo (Orge, La Bureau, Ormançon).

Le rejet vers le milieu naturel est régulé par les bassins quantitatifs, mis en place au droit des secteurs imperméabilisés de la zone descenderie et de la zone puits, conçus pour ne pas augmenter le débit des cours d'eau récepteurs. Ces bassins sont dimensionnés pour retenir la pluie centennale définie pour la conception de l'INB.

Les points de rejets dans le milieu naturel concernés sont :

- les rejets au moyen d'ouvrages diffusifs pour :
  - ✓ les rejets de la zone puits vers l'Ormançon ;
  - ✓ les rejets de la zone descenderie sud vers l'Orge ;
- les rejets canalisés de la zone descenderie nord vers La Bureau.

» DÉFINITION DE LA PLUIE CENTENNALE UTILISÉE POUR DIMENSIONNER LES OUVRAGES DE LA ZONE DESCENDERIE ET DE LA ZONE PUITS DU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO

Les événements de pluies intenses, survenant sur un site industriel comme le centre de stockage Cigéo, engendrent des ruissellements, des crues, des remontées de nappe et des risques d'inondation des bâtiments pouvant être la cause de dégâts matériels, de pollution, de pannes électriques et d'accidents ayant potentiellement des conséquences sur l'environnement. Pour prévenir tout risque de cette nature, la conception du centre de stockage vise, dans un premier temps à définir les caractéristiques théoriques d'un événement de pluie extrême affectant le centre, puis, dans un second temps, à organiser le site et à dimensionner les installations pour les protéger et réduire les risques sur l'environnement en cas de pluie. L'Andra suit en particulier les recommandations du guide de l'ASN concernant la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes (guide n° 13) (150).

Contrairement à d'autres aléas (par exemple la vitesse du vent), les pluies extrêmes ne peuvent pas être caractérisées par un seul paramètre. Pour une fréquence d'occurrence donnée (par exemple une pluie décennale ou une pluie centennale), elles sont caractérisées notamment par une série de couples « intensité [138]/durée de la pluie ». Pour évaluer leurs effets, il faut également tenir compte des particularités locales de la zone, en particulier la taille du bassin versant et la dynamique de ruissellement.

Pour l'étude des conséquences des pluies extrêmes sur le centre de stockage Cigéo, les caractéristiques de pluies centennales ont été évaluées à partir des données météorologiques locales, enregistrées dans les stations météorologiques de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois (considérée comme la plus représentative des conditions du site) qui disposent d'une durée et d'une fréquence de mesures suffisantes. À partir des données locales, une pluie centennale théorique extrême, dite de « référence » ou pluie « projet » a été modélisée. Celle-ci possède une marge importante par rapport aux pluies intenses réelles mesurées dans la station météorologique. Cette marge permet de couvrir les incertitudes sur les données et sur le modèle statistique (intervalle de confiance de 95 %).

Les études de conception du site utilisent cette pluie de référence pour dimensionner les ouvrages de protection des installations du centre de stockage et de l'environnement de la zone descenderie et de la zone puits. Cette pluie sert à définir notamment la capacité des bassins de rétention des eaux pluviales et les réseaux

[138] L'intensité de la pluie est parfois caractérisée par la « hauteur » de la pluie.

d'évacuation. De plus, à des fins de robustesse, les études font l'hypothèse d'indisponibilité des avaloirs des réseaux. Les solutions de protection ainsi définies sont très robustes et efficaces pour protéger les bâtiments. Le dimensionnement de tous les bassins quantitatifs (bassins de rétention) du centre de stockage à la pluie de référence (pluie centennale théorique extrême) participe à l'objectif de non-aggravation des risques d'inondation pour les personnes et les biens aux alentours du centre de stockage en régulant le rejet des eaux pluviales vers les cours d'eau locaux, en particulier l'Orge, la Bureau et l'Ormançon, y compris en cas d'événements de pluies intenses.

Le rejet régulé de ces bassins quantitatifs vers le milieu naturel ne modifie pas le débit des cours d'eau grâce à un débit de fuite des bassins, dont la valeur est fonction de la pluie considérée (principe de régulation). Pour une pluie décennale, le débit de fuite maximum retenu est de 3 l/s/ha. Pour une pluie centennale, le débit de fuite maximum retenu est de 6 l/s/ha. Pour les surfaces non imperméabilisées, soient les eaux ruissellent et s'infiltrent naturellement (gestion alternative à la parcelle), soient elles sont collectées et rejoignent le réseau de collecte des eaux pluviales.

Sur le plan technique, un dispositif adapte le débit d'eau pluviale rejeté par les bassins quantitatifs, dénommé « débit de fuite des bassins », à l'intensité de la pluie considérée (principe de régulation) :

- pour une pluie décennale, le débit de fuite maximum retenu est de 3 l/s/ha ;
- pour une pluie centennale, le débit de fuite maximum retenu est de 6 l/s/ha.

S'agissant des secteurs non imperméabilisés, soit les eaux ruissellent et s'infiltrent naturellement (gestion alternative à la parcelle), soit elles sont collectées et rejoignent le réseau de collecte des eaux pluviales.

Pour la liaison intersites et l'installation terminale embranchée, le même principe de non-aggravation des risques d'inondation est appliqué avec la mise en place de bassins quantitatifs régulant le débit rejeté :

- deux bassins quantitatifs dimensionnés pour la pluie décennale pour la liaison intersites :
  - ✓ rejet sud canalisé vers La Bureau ;
  - ✓ rejet nord au moyen d'un ouvrage diffusif vers l'Ormançon.
- deux bassins quantitatifs dimensionnés pour la pluie décennale pour l'installation terminale embranchée et implantés en dehors du périmètre de protection du captage d'eau potable d'Échenay (département Haute-Marne).

Sur l'installation terminale embranchée (ITE) et la liaison intersites (LIS), les ouvrages de gestion des eaux sont dimensionnés à la pluie décennale conformément aux règles de l'art des ouvrages linéaires. Des emprises conservatoires sont néanmoins réservées pour le cas où les études, les échanges avec le territoire ou les autorisations de travaux exigeraient à l'avenir un redimensionnement des ouvrages.

Tous ces dispositifs de gestion des eaux pluviales sont conçus pour participer à la non-aggravation des risques d'inondations pour les personnes et les biens. Conformément au SDAGE Seine-Normandie 2009-2015 (151) (qui a été annulé par voie contentieuse mais demeure un document exprimant les objectifs souhaités), la conception du dispositif de rejet des bassins quantitatifs du centre de stockage Cigéo est réalisée à partir des données du milieu naturel. Le débit de fuite des ouvrages de rétention est inférieur au débit spécifique du bassin versant collecter à l'état naturel.

L'analyse détaillée des incidences du centre de stockage Cigéo sur le débit des cours d'eau figure dans le volume IV de la présente étude d'impact.

» LA NON AGGRAVATION DES RISQUES D'INONDATION

Le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau qui s'y écoule par unité de temps (l/s).

Le débit spécifique d'un cours d'eau en un point est son débit par unité de superficie du bassin versant situer en amont de ce point (l/s/ha). Il permet de comparer des cours d'eau situés sur des bassins versants différents et les capacités d'infiltration des eaux de ces bassins versants.

L'imperméabilisation des sols entraîne une diminution de la quantité d'eau pluviale infiltrée et donc une augmentation du débit spécifique.

Sur le centre de stockage Cigéo, l'eau pluviale sur les surfaces imperméabilisées est collectée et transférée vers des bassins qualitatifs pour traitement, puis vers des bassins quantitatifs qui régulent le débit de rejet.

Le débit régulé des eaux pluviales rejetées par le centre de stockage Cigéo est inférieur au débit spécifique naturel du bassin versant correspondant, c'est-à-dire au débit spécifique sans le centre de stockage (sans imperméabilisation de la zone).

Ce principe permet de ne pas aggraver le risque d'inondation à l'aval du point de rejet.

Le calcul des débits spécifiques et des débuts régulés en sortie des bassins quantitatifs sont décrits au volume VII de la présente étude d'impact.

Des éléments complémentaires sur le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales sont présentés au chapitre 5.3 du volume IV de la présente étude d'impact.

Une carte de localisation des points de rejets liquide du centre de stockage Cigéo est jointe au chapitre 6.2.3.1.7 du présent volume.

2.5.3.4.3 La préservation des milieux aquatiques vis-à-vis des rejets d'eaux pluviales et d'effluents conventionnels issus du centre de stockage Cigéo

Pendant toutes les grandes phases du projet global Cigéo, les effluents dits « conventionnels » du centre de stockage Cigéo sont produits par des activités classiques, dans des locaux qui ne contiennent pas de colis de déchets radioactifs et par des activités qui ne mettent pas en œuvre de substances radioactives.

Les rejets dits conventionnels comprennent :

- les eaux pluviales dont le principe de stockage et de régulation a été précisé dans le principe de non-aggravation des risques d'inondations pour les personnes et les biens (cf. Chapitre 2.5.3.4.2 du présent volume) ;
- les effluents conventionnels dont les principes de gestion *via* des stations d'épuration et des dispositifs de traitement sont explicités dans le présent chapitre.

Les effluents conventionnels recouvrent les eaux usées (effluents issus des sanitaires, des lavabos, des douches et des réfectoires), les effluents industriels provenant des installations de surface (eaux issues d'activités industrielles conventionnelles, aires de lavage…) et les effluents issus des installations souterraines (eaux d'exhaure, eaux ruisselant sur les zones imperméabilisées au fond et eaux de test incendie).

Les eaux pluviales et les effluents conventionnels du centre de stockage Cigéo font l'objet de différents traitements selon leur nature et leur date de production parmi les grandes phases du projet global Cigéo (cf. Chapitre 4 du présent volume).

En phase d'aménagements préalables, des dispositifs provisoires et évolutifs d'assainissement des eaux pluviales des plateformes et de toutes les zones de chantier, dimensionnés pour la pluie décennale, sont mis en place (capacité de stockage). Adaptés à un chantier, ils comprennent des systèmes de traitement de la qualité des eaux de type filtres à fines, séparateurs à hydrocarbures ou dispositifs similaires. L'objectif de ces dispositifs est l'absence de rejet polluant (hydrocarbures, matières en suspension…) vers le milieu local tout en assurant une régulation des débits rejetés dans ce milieu. Des dispositifs d'assainissement non collectif sont installés pour le traitement des eaux usées produites par les bases vie des chantiers (zones descenderie et puits/plates-formes de chantier au droit des zones de rétablissement routiers avec l'installation terminale embranchée). Ils sont dimensionnés selon les exigences des règlements sanitaires départementaux ou les prescriptions techniques précisés dans les documents d'urbanismes concernés.

En phase de construction initiale, dès la fin de la phase d'aménagements préalables, les dispositifs qualitatifs et quantitatifs définitifs de traitement des eaux pluviales et des effluents conventionnels sont fonctionnels et dimensionnés pour la pluie de référence du projet. L'Andra a pour objectif de traiter l'ensemble des eaux pluviales et des effluents conventionnels selon les meilleures techniques possibles.

En phase de fonctionnement, les dispositifs de collecte, de stockage, de traitement et de rejet développés en phase de construction initiale pour les eaux pluviales et les effluents conventionnels sont maintenus et utilisés. Sur la

durée de fonctionnement d'ordre séculaire du centre de stockage Cigéo, ils pourront naturellement être adaptés suite à la prise en compte des retours d'expérience, de développement technologique ou à d'éventuelles modifications des installations.

De manière générale, les choix faits, que ce soit en zone descenderie ou en zone puits, permettent de mettre en œuvre des équipements fiables et éprouvés, de respecter l'état des milieux récepteurs et de limiter les consommations et de fait les rejets au milieu naturel (une partie des eaux traitées sera recyclée).

Plusieurs solutions de gestion des rejets des eaux pluviales et des effluents conventionnels ont été étudiées en zone descenderie. La solution retenue l'a été au regard de l'étude comparative menée, combinant des critères techniques/règlementaires (faisabilité technique de la filière, planning de réalisation, respect des exigences réglementaires notamment au titre de la Loi sur l'eau), des critères environnementaux (incidences sur les usages et sur la biodiversité, vulnérabilité des population face au risque inondation, insertion territoriale et paysagère, notion de développement durable), des critères de sureté (nombre d'exutoires, maitrise de la pollution), des critères fonciers et financiers (cout de construction et de maintenance de la filière). Notamment, l'eau de rabattement de nappe sera restituée à la nappe : les eaux souterraines collectées après création de la paroi étanche seront réinfiltrées dans la même nappe.

PRINCIPES DE TRAITEMENT DES EAUX PLUVIALES ET DES EFFLUENTS CONVENTIONNELS

Eaux pluviales

En zones descenderie et puits (en dehors de la zone de gestion des verses), des dispositifs de traitement et d'abattement de la pollution des eaux pluviales sont mis en place. Ils sont dimensionnés pour traiter la charge polluante issue du lessivage des voiries par un évènement pluvieux de 11 mm dans des bassins dénommés « qualitatifs ».

À l'issue du traitement, les eaux transitent dans un filtre à sable avant de rejoindre des bassins quantitatifs dimensionnés pour une pluie centennale. Le débit de fuite de ces bassins respecte le principe de non-aggravation des risques d'inondation décrit précédemment (cf. 2.5.3.4.2 du présent volume). Les bassins qualitatifs comprennent aussi un dispositif pour assurer le confinement d'une éventuelle pollution accidentelle avant son traitement.

Les eaux pluviales ruisselant sur les verses de la zone puits sont collectées au sein de bassins qualitatifs. Elles transitent ensuite vers un bâtiment technique pour un traitement spécifique, puis sont transférées vers des bassins quantitatifs dimensionnés pour la pluie centennale avant leur rejet par des ouvrages de diffusion vers l'Ormançon.

Les eaux pluviales ruisselant sur la liaison intersites sont gérées qualitativement et quantitativement au moyen de deux bassins de collecte multifonction dimensionnés pour la pluie décennale. Le rejet vers le milieu naturel se fait à débit régulé selon le même principe que ceux des zones descenderie et puits (cf. Chapitre 2.5.3.4.2 du présent volume).

Les eaux pluviales ruisselant sur la plateforme ferroviaire de l'installation terminale embranchée sont gérées grâce à deux bassins de collecte multifonction dimensionnés pour la pluie décennale, conformément aux règles de l'art. Le rejet vers le milieu naturel se fait à débit régulé selon le même principe que ceux des zones descenderie et puits. Une réhabilitation du dispositif actuel de gestion des eaux pluviales est prévue pour la plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château (en attente de la définition technique des futures installations/activités implantés sur la plateforme logistique).

Effluents conventionnels issus des installations en surface

En zone descenderie et puits, les stations d'épuration mises en fonctionnement traitent les effluents conventionnels (eaux usées, eaux industrielles de surface). Le procédé technique de traitement de ces eaux est adapté à la fois à la qualité des eaux collectées et à la compatibilité des rejets du centre de stockage Cigéo avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles (cf. Chapitre 2.5.3.4.5 du présent volume). La description technique des principes retenus pour le traitement au sein des stations d'épuration figure dans le volume IV de la présente étude d'impact. Au final, les stations d'épuration correspondent à une chaîne de traitement pour environ 1 700 équivalents habitants pour la zone descenderie et environ 700 pour la zone puits, soit l'équivalent des stations d'épuration pour des communes française de taille moyenne.

Effluents conventionnels issus des installations en fond

En zone descenderie et en zone puits, des dispositifs traitent les effluents conventionnels récupérées au niveau des ouvrages souterrains (eaux d'exhaure, eaux ruisselant sur les zones imperméabilisées en fond et eaux de test incendie). Le procédé technique des dispositifs de traitement de ces eaux est adapté à la fois à la qualité des eaux collectées et à la compatibilité des rejets du centre de stockage Cigéo avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles (cf. Chapitre 2.5.3.4.5 du présent volume). La description technique des principes retenus pour le traitement au sein des dispositifs de traitement figure dans le volume IV de la présente étude d'impact.

Eaux usées (uniquement pour la plateforme logistique de Gondrecourt)

La plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château comprend actuellement un dispositif d'assainissement des eaux usées (fosse de 6 m³ régulièrement vidangée qui est conservé en l'état, mais pourra être adaptée au cours du temps en fonction des besoins.

Des éléments complémentaires sur le traitement des eaux sont présentés au chapitre 5.3 du volume IV de la présente étude d'impact.

2.5.3.4.4 La préservation des milieux aquatiques vis-à-vis des effluents non conventionnels issus du centre de stockage Cigéo

Le process nucléaire pour le stockage des colis de déchets radioactifs (opérations de manutention et de transferts principalement) ne génère pas d'effluents radioactifs liquides.

Pendant le fonctionnement de l'INB, certains effluents collectés dans les zones à production possibles de déchets nucléaires, par exemple, lors d'opérations de décontamination suite à des contrôles radiologiques, ou dans le système de collecte des eaux d'exhaure des alvéoles HA (eaux ayant été au contact des colis de déchets) peuvent contenir des substances radioactives. Ces effluents liquides, dits "non conventionnels" ne sont pas rejetés localement et font l'objet d'une gestion distincte à savoir leur collecte et leur envoi vers une filière externe dédiée au traitement des déchets liquides radioactifs. Leur quantité est faible. Les études de l'Andra l'estime à environ 90 m³/an au maximum au cours des premières décennies de fonctionnement. Leur activité sera très faible, au maximum de l'ordre de la dizaine de Bq/L en alpha global et de la centaine de Bq/L en bêta global. Pour mémoire, l'activité volumique de l'eau de mer est de l'ordre de 40 Bq/L. Celle de l'eau de pluie d'environ 0,5 Bq/L.

Afin de préserver la qualité des milieux aquatiques concernés par les rejets issus du centre de stockage Cigéo, l'Andra retient le principe de ne rejeter aucun effluent non conventionnel dans le milieu naturel local.

Les effluents non conventionnels sont gérés de façon spécifique, totalement séparée des effluents conventionnels. Ils sont collectés et contrôlés radiologiquement et le cas échéant traités *via* une unité mobile (technologie existante et éprouvée).

Tous les effluents non conventionnels, traités ou non, sont transférés sous forme de déchets liquides vers une autre installation agréée pour leur élimination. La production de ces effluents n'intervenant qu'après la mise en service du centre de stockage Cigéo, l'installation agrée avec laquelle l'Andra signera une convention pour le transfert de ces effluents non conventionnels n'a encore pu être identifiée[139].

La radioactivité totale des effluents non conventionnels produits par le centre de stockage Cigéo sera inférieure au million de Becquerel par an (1 MBq). Pour l'installation agrée vers laquelle ils seront expédiés, la radioactivité ajoutée par ces effluents ne représentera qu'une faible part des rejets autorisés. En effet, les autorisations de rejets des installations nucléaires de base (INB) sont classiquement de plusieurs ordres de grandeurs supérieurs. Par exemple :

- la centrale de Paluel est autorisée à rejeter par an respectivement 160 000 et 20 milliards de Becquerels (GBq) en tritium et en produits de fission ou d'activation émetteurs béta gamma (152) ;

[139] Tout transfert d'effluents liquides ou d'eau prélevée dans l'environnement à une autre installation, nucléaire de base ou non, dépendant d'un autre exploitant, fait préalablement l'objet d'une convention passée entre l'exploitant de l'installation nucléaire de base et l'exploitant de l'autre installation. Cette convention fixe les caractéristiques et les quantités des effluents ou des eaux transférés (146)

- le Centre de stockage de l'Aube (CSA) exploité par l'Andra est autorisé à rejeté 100 millions de Becquerels (0,1 GBq) en émetteurs béta gamma par an (153).

En réalité, ces installations ne rejettent qu'une part réduite de la radioactivité qu'elles sont autorisées à rejeter annuellement. L'ajout des effluents provenant du centre de stockage Cigéo, même s'il est non significatif par rapport au rejet total de l'installation agrées, fera l'objet d'une évaluation d'impact détaillée et d'une instruction par l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) avant son éventuelle autorisation.

En fonction des évolutions technologiques à l'horizon du début de fonctionnement du centre de stockage Cigéo et d'une possible évolution des volumes concernés, d'autres pistes de traitement sont en cours d'étude, par exemple la production de colis de déchets de très faible activité. Elles feront le cas échéant l'objet de demandes d'autorisation spécifique et seront détaillées dans les versions ultérieures de la présente étude d'impact.

2.5.3.4.5 La limitation au strict nécessaire des besoins en eau potable du centre de stockage

Le centre de stockage Cigéo a des besoins différents en alimentation en eau potable selon les phases du projet global Cigéo. Sa conception vise à préserver les ressources locales utilisées pour l'alimentation en eau potable en privilégiant le recyclage des eaux consommées, puis leur utilisation maximale pour ses propres activités ne nécessitant pas une eau potable au sens de la consommation humaine.

Comme précisé au chapitre 2.5.3.4.3 du présent volume, deux systèmes distincts de gestion des effluents conventionnels sont prévus sur chaque installation de surface (zone puits, zone descenderie) :

- une station d'épuration pour traiter les eaux usées et les effluents industriels des installations de surface ;
- un dispositif de traitement pour les effluents issus des installations souterraines.

La gestion des eaux et des effluents et les dispositifs de traitement visent à la compatibilité des rejets avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles. Cette qualité des eaux issues des traitements est compatible avec leur réutilisation sur le centre de stockage Cigéo pour différents usages n'impliquant pas une consommation humaine (production de béton, fonctionnement des tunneliers, lavage des engins, arrosage des espaces verts...). Les principes de dimensionnement des procédés de traitement sont décrits au chapitre 5.2.7 du volume VII de la présente étude d'impact.

La réutilisation des eaux traitées nécessite la mise en place de réservoirs de stockage des eaux dites « recyclées ». Les eaux recyclées peuvent être utilisées pendant trois jours, laps de temps maximal pour un usage n'impliquant pas une consommation humaine. Passé le délai de trois jours, les eaux doivent être rejetées vers le milieu naturel en respectant le principe de non-aggravation des risques d'inondation en aval hydraulique décrit au chapitre 2.5.3.4.2 du présent volume. Les besoins en eau évoluant dans le temps, le nombre de réservoirs et le volume total de stockage varient en fonction de la phase de déploiement du centre de stockage Cigéo.

En tenant compte de l'utilisation prioritaire des eaux recyclées pour les usages industriels décrits ci-avant, les pics de consommation d'eau potable sont estimés à environ 500 $m^3.j^{-1}$ pour la phase des aménagements préalables, 500 $m^3.j^{-1}$ pour la phase de construction initiale et 200 $m^3.j^{-1}$ pour la phase de fonctionnement du centre.

Ce principe de recyclage des eaux produites au sein du centre de stockage Cigéo s'applique dès la mise en exploitation des stations d'épuration (mise en service dès le début de la construction initiale) et permet d'économiser au maximum 700 $m^3.j^{-1}$ d'eau potable, en pointe, en phase de construction initiale et de l'ordre de 275 $m^3.j^{-1}$ en phase en phase de fonctionnement.

Tous les éléments techniques concernant la gestion des eaux et les dispositifs de recyclage des eaux traitées retenus sont précisés dans le chapitre 5 du volume IV de la présente étude d'impact ; une synthèse est présentée au chapitre 6.1.2.1 du présent volume.

En synthèse, le dispositif de gestion des eaux des zones descenderie et puits est évolutif et adapté à la nature des eaux et à leur volume estimé. Ce principe permet une performance maximale des dispositifs de traitement des effluents pour atteindre une qualité d'eaux recyclées adaptée au besoin en eau non potable du centre de stockage Cigéo ainsi qu'une compatibilité des rejets avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles. L'aménagement des installations en surface permettra au besoin de modifier ce dispositif pour garantir la non-aggravation du risque inondation en aval (aspect quantitatif) et la non-altération de la qualité des eaux (aspect qualitatif). Le dispositif de gestion des eaux pour la liaison intersites et l'installation terminale embranchée reste inchangé après leur réalisation en phase d'aménagements préalables.

Le principe actuellement retenu pour le recyclage des eaux sur le centre de stockage Cigéo est présentés en détail dans le chapitre 5 du Volume IV de la présente étude d'impact et de manière synthétique dans le chapitre 6.1.2.1 du présent volume.

2.5.3.4.6 La protection de l'installation nucléaire de base (INB) du centre de stockage Cigéo et de l'environnement au regard du contexte hydrogéologique

La conception de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo intègre les caractéristiques hydrogéologiques de la zone d'implantation, notamment la présence d'une nappe d'eau souterraine au niveau des calcaires du Barrois.

Deux types de dispositifs sont prévus et explicités ci-après :

- un ouvrage de protection contre les remontées de la nappe des calcaires du Barrois pour renforcer la protection des installations nucléaires de surface du centre de stockage.

  Ce dispositif permet de protéger le terminal ferroviaire nucléaire et le bâtiment nucléaire de surface EP1 de la zone descenderie d'une remontée de la nappe phréatique à une altimétrie supérieure ou égale à la côte 358 mètres NGF en phase de fonctionnement. Cette altimétrie correspond au niveau de la nappe affleurant la surface au droit de l'accès du hall de déchargement du bâtiment nucléaire de surface EP1. Afin de réduire le rabattement de la nappe occasionné en aval de cet ouvrage de protection, des ouvrages de drainages des eaux souterraines y sont associés pour permettre la ré-infiltration des eaux dans le milieu naturel. À ce stade le dispositif retenu est une paroi étanche (cf. Chapitre 3.2.3.2.2e) du présent volume). La conception de ce dispositif sera approfondie dans le cadre des actualisations ultérieures de l'étude d'impact, afin d'identifier des pistes d'optimisation permettant de réduire ses incidences sur l'environnement, notamment renforcer la transparence hydraulique. À ce stade, ce dispositif est une option, parmi d'autres, dont la conception fait l'objet d'une démarche itérative en regard de l'objectif de protection des ouvrages ;
- des dispositifs d'étanchéité au niveau de toutes les liaisons surface-fond (puits et descenderies) pour les isoler de la nappe des calcaires du barrois et pour éviter la mise en communication des aquifères traversés (cf. Figure 2-72).

  Un « bulbe d'étanchéité » composé d'un matériau gonflant en présence d'eau (matériau bentonitique) est mis en place à l'interface entre les différentes couches géologiques traversées. En gonflant, il assure l'étanchéité entre le massif en béton des liaisons et le terrain.

  Autour des puits et des descenderies, des injections de collage sont réalisées de manière à boucher les fissures du terrain imperméable qui peut être endommagé par la technique de creusement et pour apporter une protection complémentaire.

  Enfin, des caniveaux et des gouttières récupèrent et acheminent de manière gravitaire les éventuelles eaux collectées dans les liaisons surface-fond vers des rétentions. Ces rétentions sont situées à l'écart des zones de stockage des colis de déchets radioactifs pour éviter tout risque de contamination. Les eaux dites « eau d'exhaure » sont remontées en surface pour analyse et traitement adapté.

  Pour éviter tout risque de contamination des aquifères traversés et des terrains pendant la phase de fonctionnement, le puits assurant l'extraction de la ventilation des zones nucléaires (puits VVE) est équipé d'un tubage métallique étanche sur toute sa hauteur.

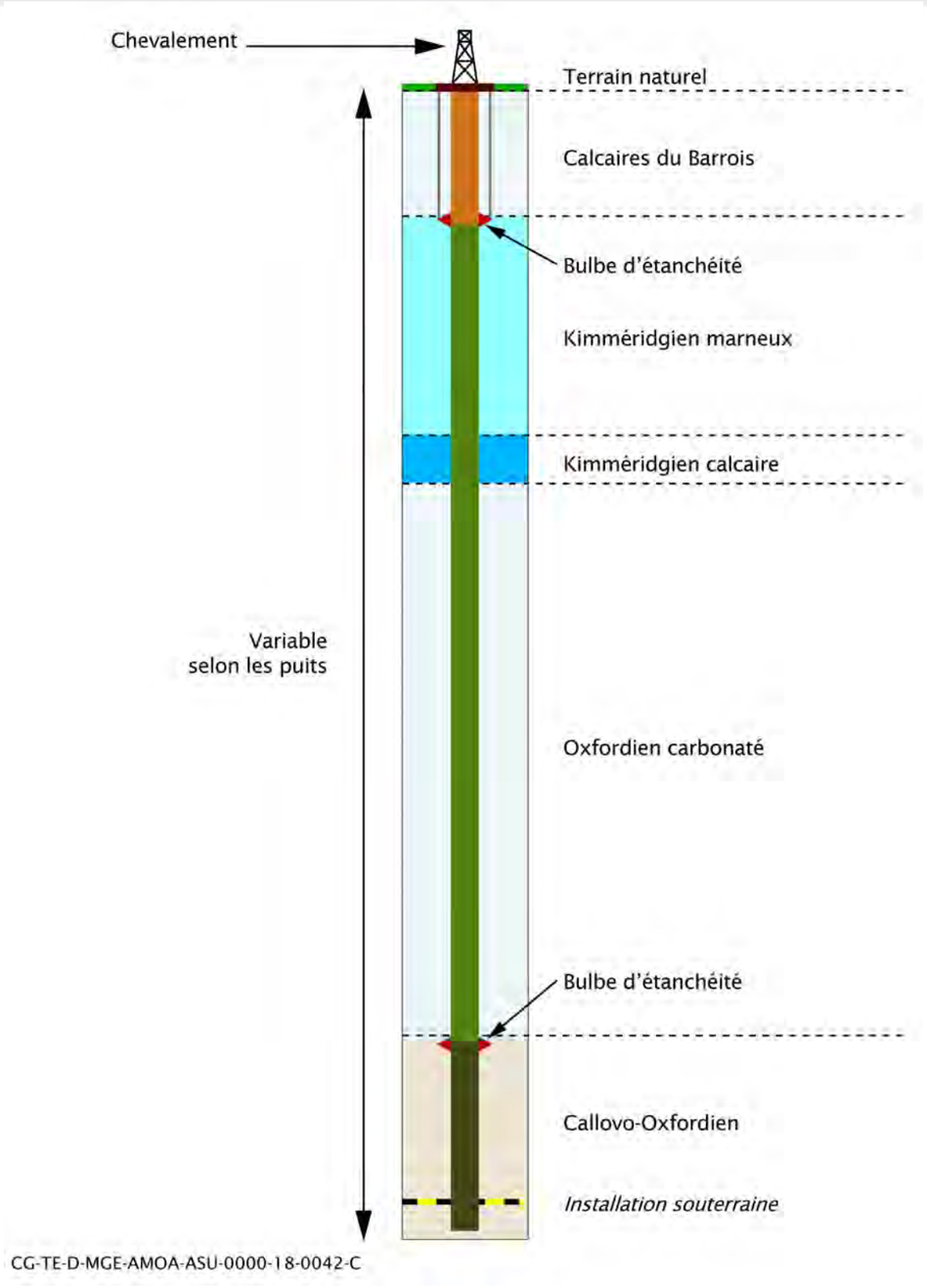


Figure 2-72 Principe de construction des puits pour éviter la mise en communication des aquifères traversés

2.5.3.4.7 La limitation des impacts sur les zones humides avérées

Les inventaires faunistiques et floristiques réalisés sur les différentes emprises concernées par les installations en surface du centre de stockage Cigéo ont permis d'étudier différentes variantes d'implantation dans l'objectif de préserver la biodiversité.

Grâce à la mise en place de mesures d'évitement, le centre de stockage Cigéo n'est implanté sur aucune zone humide.

Au niveau de la zone descenderie, une modification des débits des sources ou des écoulements de débordement des Calcaires du Barrois vers la vallée de l'Orge induits par le rabattement des nappes ou l'imperméabilisation des sols, pourrait être de nature à modifier le bilan en eau de l'Orge et de sa nappe d'accompagnement sur le tronçon compris entre Gillaumé et Saudron. Toutefois, les incidences résiduelles sur les perturbations du régime hydraulique des cours d'eau à l'échelle du projet global sont considérées, après mesures d'évitement et de réduction, comme peu probables quelles que soient les phases du projet. Des études et des modélisations viendront consolider l'analyse des incidences du projet sur les débits de l'Orge et sur les fonctionnalités de la zone humide. Les résultats de ces études permettront également d'asseoir le niveau de transparence hydraulique des installations. L'avancement et les conclusions de ces démarches seront détaillées et intégrées dans les mises à jour à venir de l'étude d'impact.

Au niveau de la zone puits, les zones humides se situent au niveau de l'Ormançon, en dehors de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo. Les rejets vers l'Ormançon sont assurés par des ouvrages de diffusion qui permettent d'éviter les incidences sur les zones humides en aval. Quelles que soient les phases du projet, les incidences résiduelles sur les zones humides sont donc considérées comme faibles au vu des habitats présents (prairies) et des sondages pédologiques réalisés sur la zone d'intervention potentielle.

Pour l'installation terminale embranchée, la mesure d'évitement consistant à réutiliser la plateforme ferroviaire désaffectée sur 10 km permet d'éviter les zones humides présentes le long du tracé. En effet, les conditions d'écoulement ne sont pas modifiées et toutes les zones humides identifiées se trouvent en dehors de la plateforme qui est en remblai. Pour les quatre derniers kilomètres à créer, le tracé est éloigné des zones humides et des ouvrages hydrauliques ou fossés drainants ce qui permet de maintenir les écoulements. Suite à la concertation et aux optimisations de tracé réalisées, les aménagements pour la voie ferrée et les rétablissements routiers n'impactent aucune zone humide quelles que soient les phases du projet.

En ce qui concerne la liaison intersites, une zone humide accompagnant la Bureau a été relevée au niveau du raccordement à la route d'accès de la zone descenderie et du contournement du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Les études de conception permettent d'affirmer que les emprises potentielles définitives (infrastructures, ouvrages de gestion des eaux pluviales, et zones de travaux) se situent en dehors des emprises des zones humides et ne sont donc pas impactées quelles que soient les phases du projet.

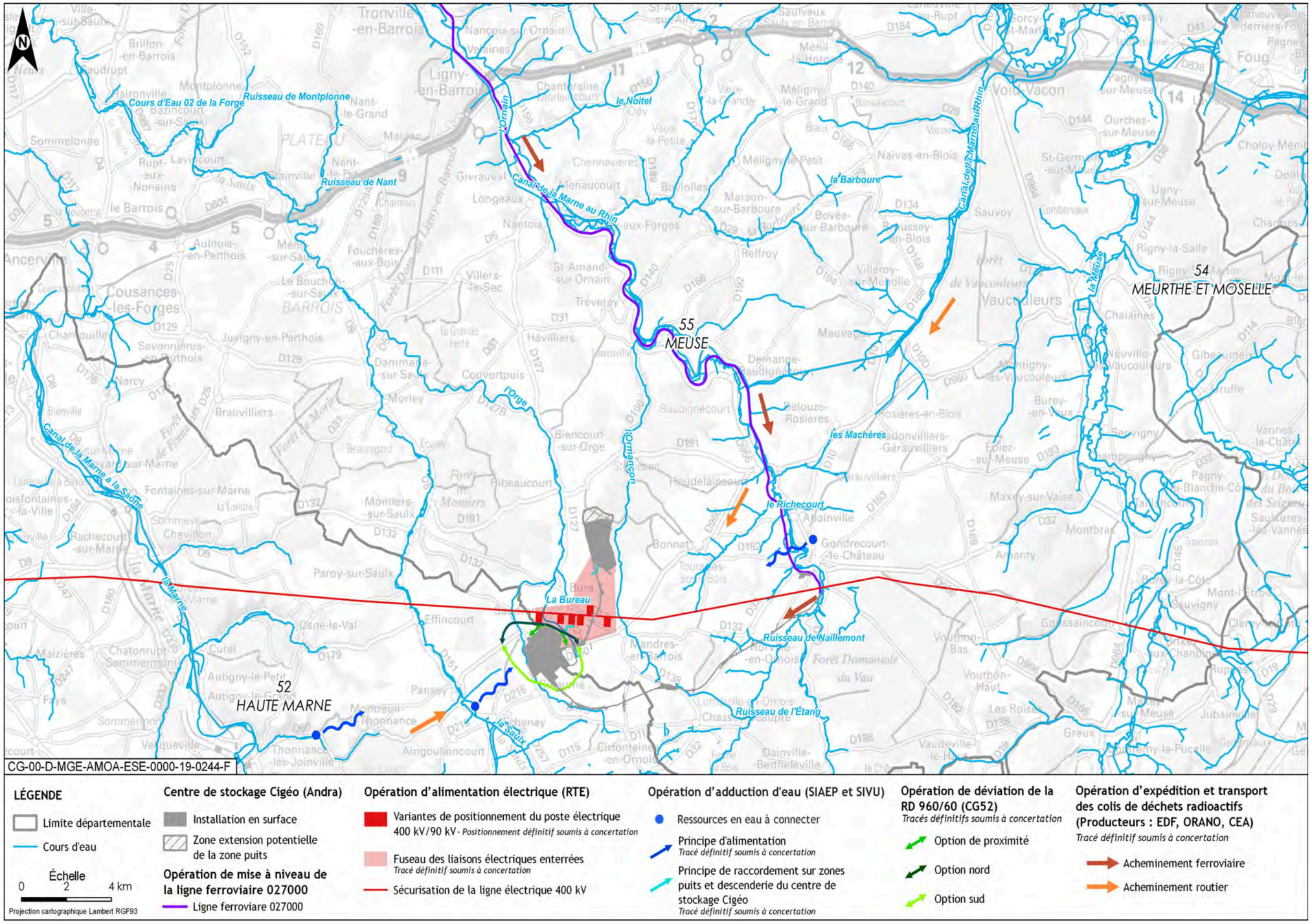


Figure 2-73 Carte de localisation du projet global Cigéo et des cours d'eaux à la proximité du centre de stockage Cigéo

LES PRINCIPAUX APPORTS DE LA CONCERTATION SUR LE CYCLE DE L'EAU MENÉE ENTRE AVRIL ET JUIN 2018

La concertation post-débat public sur le cycle de l'eau a permis de choisir la solution technique de référence.

Les principaux apports de la concertation à la définition de la solution technique de référence concernent les demandes suivantes :

- éviter les rejets déportés pour éviter la réalisation de canalisation de plusieurs kilomètres (avec les servitudes associées) demandant des stations de pompages impactant le territoire et consommant de l'énergie ;
- privilégier les rejets des effluents conventionnels dans les cours d'eau locaux (pour respecter les bassins versants et réguler les crues), si la qualité des rejets et les caractéristiques des cours d'eau le permettent ;
- veiller à la qualité des eaux rejetées et au recyclage des eaux au sein des installations du centre de stockage Cigéo afin de minimiser la consommation en eau potable et les volumes dirigés vers les cours d'eau locaux.

Au terme de cette concertation :

- le rejet local des effluents liquides susceptibles de présenter des traces de radioactivité n'est pas retenu. À ce stade, la solution privilégiée est une orientation de ces effluents vers une installation spécialisée ;
- l'option d'irrigation par des eaux épurées des terres agricoles à vocation alimentaire aux alentours du périmètre du projet global Cigéo n'est pas la solution retenue aujourd'hui par mesure de précaution. Cette solution pourrait évoluer sous réserve d'une étude détaillée de faisabilité et d'autorisation des services de l'État, notamment l'Agence régionale de santé (ARS).

Au terme des études complémentaires menées, à ce stade, par l'Andra :

- la réutilisation des effluents liquides pour la fabrication des bétons est confirmée ;
- les études hydromorphologiques ont été partiellement réalisée et se poursuivent. L'absence de besoin de création d'aménagements complémentaires favorisant le ralentissement des eaux est confirmée par modélisation inondation.

Les études relatives à la capacité des cours d'eau à absorber les rejets (quantitativement et qualitativement) ont été complétées.

2.5.3.5 Le développement progressif de la zone de verses

Le Callovo-Oxfordien excavé lors des creusements est géré au fur et à mesure des travaux de déploiement progressif de l'installation souterraine. Le choix de la localisation de l'aire de gestion du Callovo-Oxfordien excavé, au nord de la zone puits, repose sur les critères et enjeux exposés aux chapitres 2.4.1.3.4b) et 2.5.1.3 du présent volume.

Afin de réduire l'incidence du projet sur la forêt du bois Lejuc, la surface envisagée à ce stade pour les verses correspond uniquement au dépôt des déblais du Callovo-Oxfordien excavé qui seront réutilisées pour la fermeture de l'installation souterraine (dites verses « vives », représentant environ 40 % du volume total du Callovo-Oxfordien extrait). Des parties de la zone puits, adjacentes aux verses, sont aménagées pour la conservation temporaire des terres réutilisées progressivement pour le couvert végétal des verses et pour la gestion des flux de Callovo-Oxfordien qui sont évacués hors du site pour valorisation (dites verses « mortes », représentant environ 60 % du volume total du Callovo-Oxfordien extrait (cf. Chapitre 2.5.1.3 du présent volume).

La surface totale des plateformes de la zone de verses et des plateformes pour la conservation temporaire des terres et la gestion des flux d'expédition, bassins de gestion des eaux compris, est d'environ 108 ha (Z1 et Z2). Le volume global de Callovo-Oxfordien déposé ou transitant sur ces plateformes correspond à environ 11 millions de m^3.

La figure 2-74 permet de visualiser les dépôts de verses au sein de la zone puits. La zone Z1 (d'environ 60 ha) est nécessaire dès le début de la construction initiale (cf. Chapitre 4.1.2 du présent volume). La zone Z2 (d'environ 48 ha) sera aménagée ultérieurement, pour gérer les déblais issus du creusement de la première extension de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 4.1.3 du présent volume). La réalisation des aménagements nécessaires à la gestion des verses (digue, bassins) est étendue graduellement, au fur et à mesure du besoin, afin de réduire au juste nécessaire les premiers défrichements. Cette stratégie permettra de réinterroger périodiquement, dans le futur, les priorités et les équilibres entre les choix de consommation d'espace agricole ou d'espace forestier pour la gestion des déblais du Callovo-Oxfordien excavé.



Figure 2-74 Schéma de principe du déploiement des verses

Une troisième zone (Z3), d'environ 39 hectares, pourrait être envisagée pour les derniers travaux d'extension des ouvrages de stockage à l'horizon 2070-2080, au cas où la disponibilité des filières extérieures de valorisation serait remise en cause (cf. Chapitre 2.4.1.3.5 du présent volume).

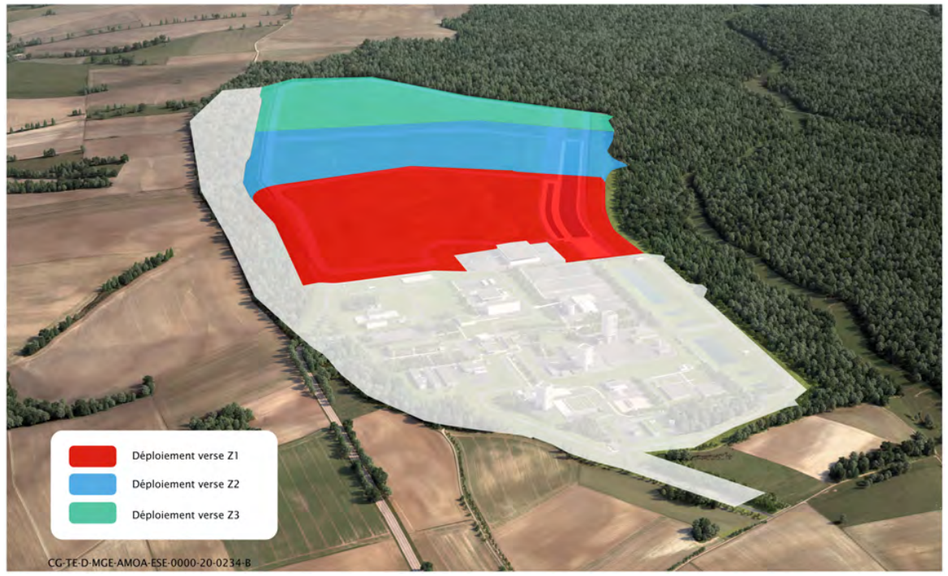


Figure 2-75 Schéma de principe du déploiement de l'éventuelle troisième tranche de verses

Une fois les verses réutilisées pour refermer l'installation (après 100 ans à 150 ans de fonctionnement en fonction des décisions prises par les générations futures), les plateformes pourront faire l'objet de travaux écologiques pour reconstituer un milieu naturel s'intégrant dans l'environnement.

2.5.3.6 La priorité au transport ferroviaire pour le transport des colis de déchets et des matériaux

2.5.3.6.1 Le transport des colis de déchets

Pour leur transport en dehors des installations nucléaires, sur la voie publique ou sur le réseau ferré, les déchets radioactifs sont, pour des raisons de sûreté, conditionnés dans des conteneurs très robustes et résistants, dénommés « emballages de transport ». Leur fonction est d'absorber la majeure partie des rayonnements émis par les colis de déchets, de les protéger de toutes les agressions susceptibles d'être rencontrées lors du trajet et d'éviter la dispersion de substance radioactive en cas d'accident.

Pour qu'ils puissent être agréés, ces emballages de transport doivent résister à des tests très sévères, par exemple des chutes (9 mètres sur surface indéformable), des feux (30 minutes à 800 °C) et des poinçonnements (chute de 1,2 mètres). Pour atteindre ces performances, ils sont constitués de grande quantité de matériaux très résistants, comme l'acier, ce qui leur confère des masses très importantes. Les emballages de transport des colis de déchets HA dépassent la centaine de tonnes.

Compte tenu de la masse des emballages de transport des déchets HA et MA-VL, leur transport par train est le moyen le plus classiquement utilisé. Il est plus adapté aux masses que représentent un convoi de plusieurs emballages. À cet égard, les colis de déchets proviennent majoritairement de sites ayant directement accès au réseau ferroviaire ou situés à proximité d'un terminal.

Les producteurs de déchets sont responsables des transports des colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo.

Dans son dossier du maître d'ouvrage support au débat public de 2013, l'Andra, en lien avec les producteurs de déchets, a annoncé son souhait de privilégier le transport ferroviaire au plus près. Il s'agit de bénéficier des multiples atouts du transport ferroviaire en termes de sécurité, d'impact sur l'environnement et de bilan économique. De plus, cette solution de transport avait été privilégiée dès 2008 par les acteurs locaux (cf. Chapitre 2.4.2.3 du présent volume).

Parmi les trois scénarios de desserte ferroviaire présentés dans le dossier du maître d'ouvrage, le territoire s'est positionné sur celui permettant une desserte ferroviaire du centre de stockage Cigéo sans rupture de charge (cf. Chapitre 2.4.2.4 du présent volume). À l'issue du débat public de 2013, l'Andra s'est engagée à utiliser majoritairement le transport par rail pour le transport des colis de déchets.

2.5.3.6.2 Le transport des matériaux de construction et des équipements

Dès lors que le centre de stockage Cigéo est relié au réseau ferroviaire au moyen de l'ITE pour le transport des colis de déchets, la mise en service de la liaison ferroviaire peut être anticipée de sorte qu'elle puisse être utilisée pour l'approvisionnement des matériaux et des équipements utiles aux travaux de construction. Le recours au fret ferroviaire limite les nuisances par rapport au transport classique par voie routière (limitation du trafic routier, des nuisances et des émissions atmosphériques associées). Plusieurs carrières et cimenteries, y compris parmi celles situées dans un rayon de 150 km du centre de stockage Cigéo sont d'ailleurs directement reliées (embranchées) au réseau ferré national.

Un acheminement mixte (voie fluviale, puis acheminement routier et/ou ferroviaire) pourrait éventuellement être utilisé pour certains approvisionnements du centre de stockage Cigéo par les fournisseurs. Le secteur dispose de trois canaux : le canal de la Marne au Rhin Ouest, le canal de la Meuse et le canal entre Champagne et Bourgogne. Cette option sera appréciée au cas par cas en tenant compte des caractéristiques des installations portuaires et du nombre des ruptures de charge, c'est-à-dire des opérations de chargement/déchargement pour passer d'un mode de transport à l'autre.

2.5.3.7 Le choix de l'entreposage sur les sites des producteurs

L'article L. 542-1-1 du code de l'environnement définit l'entreposage 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, avec intention de les retirer ultérieurement » (cf. Chapitres 1.2.3 et 2.2 du présent volume).

Aujourd'hui, les déchets HA et MA-VL sont principalement entreposés sur le site Orano de La Hague et sur les centres CEA de Marcoule et Cadarache. Cet entreposage est nécessaire en attente de la disponibilité du stockage en couche géologique profonde pour leur mise en sécurité définitive (cf. Chapitre 2.2.7 du présent volume).

Pour autant, la création du centre de stockage Cigéo, si elle est autorisée, ne supprime pas le besoin d'entreposage. En effet, il permet de préparer, d'organiser et de réguler les flux d'expédition des colis depuis les installations des producteurs vers le centre de stockage Cigéo. Les colis ne sont expédiés que lorsqu'il a été montré qu'ils respectent les spécifications d'acceptation du centre de stockage Cigéo et uniquement lorsque l'Andra dispose de la capacité à les stocker. Cette pratique évite que les colis s'engorgent en surface sur le centre de stockage Cigéo.

Une autre raison qui justifie le besoin d'entreposage est la décroissance radioactive et thermique de plusieurs dizaines d'années des colis de déchets HA avant leur mise en stockage (cf. Chapitre 1.3.3.2 du présent volume).

En 2009, l'Andra a établi en relation avec les producteurs de déchets, un inventaire des capacités d'entreposage existantes et un recensement des besoins à venir pour les colis en cours de production ou pour le remplacement d'installations d'entreposage devenues obsolètes. La question s'est alors posée de la localisation de ces capacités d'entreposage, soit sur ou à proximité du centre de stockage de Cigéo, soit sur les sites des producteurs de déchets.

Plusieurs avantages potentiels d'une centralisation des capacités d'entreposage sur le centre de stockage Cigéo ont été identifiés en 2009 :

- elle accroît la flexibilité de la gestion d'ensemble des colis de déchets (les expéditions vers le centre de stockage Cigéo ne sont plus liées à la disponibilité des capacités de stockage) ;
- elle offre une activité industrielle supplémentaire qui participe au développement du territoire ;
- elle permet de disposer sur le centre de stockage Cigéo d'installations d'entreposage pour accueillir les déchets éventuellement retirés du stockage dans le cadre de la réversibilité.

Toutefois, cette solution technique nécessite la construction d'installations nucléaires supplémentaires sur le centre de stockage Cigéo, augmente ses impacts en termes de surfaces consommées et de rejets et accroît les activités nucléaires et donc les risques sur le site. Inversement, l'entreposage sur les sites des producteurs s'inscrit dans la continuité de leur activité actuelle et bénéficie de leur savoir-faire. Les possibilités d'extension offertes sur les sites ont d'ores et déjà été identifiées et ne soulèvent pas de difficulté de réalisation particulière.

De plus, certains acteurs du territoire ont exprimé dès 2010 leur volonté de ne pas accueillir d'installation d'entreposage de décroissance thermique. L'Andra s'est engagée lors du débat public de 2013, à ne pas construire en Meuse/Haute-Marne d'entreposage pour la gestion des colis de déchets.

L'entreposage des colis de déchets en attente d'expédition pour stockage ou pour décroissance thermique se fera sur les sites des producteurs. Le centre de stockage Cigéo disposera uniquement d'une capacité logistique permettant de gérer de façon optimale les arrivées et la meilleure utilisation des volumes de stockage disponible. Aucun entreposage de gestion des colis de déchets (pour refroidissement, attente de disponibilité de filière, attente pour reconditionnement…) n'est donc prévu sur le centre de stockage Cigéo.

Synthèse - Les choix de conception environnementale du centre de stockage Cigéo

Le projet de centre de stockage Cigéo est développé en dialogue avec la société et le territoire pour prendre en compte les préoccupations de la population et pour préparer son intégration. Depuis le débat public de 2013, sous l'égide de garants nommés par la CNDP, l'Andra mène une démarche de concertation pour consolider son projet et nourrir son évaluation environnementale.

La localisation des installations souterraines du projet est le résultat d'un processus progressif qui a pris en compte les critères géologiques prépondérants pour la sûreté du stockage. Des critères environnementaux et économiques ont également été identifiés avec les acteurs locaux pour orienter la recherche de la bonne localisation. Plusieurs zones ont été proposées, ce qui a permis d'aboutir fin 2009 à la définition de la Zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA) optimisée au regard des critères de protection de l'Homme et de l'environnement. Cette zone qui est de taille suffisante pour accueillir un stockage a fait l'objet d'investigations complémentaires. Elles ont confirmé sa capacité à accueillir la Zone d'implantation des installations souterraines (ZIOS) du centre de stockage Cigéo.

À partir de la zone souterraine, l'Andra a recherché les meilleures implantations pour les installations de surface du centre de stockage. Les critères définis avec le territoire visaient principalement à protéger l'Homme et l'environnement, à réduire les nuisances et les risques, et à respecter les enjeux d'aménagement du territoire et d'efficacité de l'activité industrielle. Le choix de la zone descenderie pour l'accueil des colis et leur préparation au stockage résulte principalement du choix du funiculaire, solution technique jugée la plus sûre pour le transfert au fond des colis, et de la volonté de rechercher une zone limitrophe des départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Le choix de la zone puits résulte de la nécessité de se situer à l'aplomb du centre de la zone d'implantation des ouvrages souterrains et sur une emprise suffisante pour y implanter à la fois les installations de support aux activités souterraines et de gestion des déblais issus du creusement et permettre une évacuation rapide du personnel en cas de besoin. Par ailleurs, la volonté de préserver le cadre de vie principalement rural de la zone a conduit à rechercher un équilibre entre la consommation des terres agricoles et des terres boisées. L'implantation dans le bois Lejuc a été retenue suite au débat public de 2013. Compte tenu des enjeux environnementaux de ce bois, l'Andra a cherché à réduire au maximum les emprises défrichées et à préserver les lisières, les boisements d'intérêt et le corridor écologique.

L'implantation de la liaison intersites (LIS) et de l'installation terminale embranchée (ITE) répondent également à une volonté d'insertion dans le territoire et à des enjeux environnementaux.

Par ailleurs, la conception environnementale du centre de stockage a abouti :

- au choix de l'électricité pour l'approvisionnement en énergie principale de fonctionnement et à la création d'un réseau de chaleur adaptable au développement des énergies vertes ;
- à l'alimentation en eau du centre depuis des captages locaux tout en permettant le renforcement des réseaux actuels des communes ;
- au recyclage maximal des eaux sur le centre de stockage ;
- au rejet dans les cours d'eaux locaux d'effluents compatibles avec les critères de bon état chimique et écologique au sens de la directive cadre sur l'eau, sans aggraver les risques d'inondations pour les personnes et les biens ;
- à valoriser les déblais du Callovo-Oxfordien qui ne seront pas réutilisés pour la fermeture ;
- à donner la priorité au transport ferroviaire pour la livraison des colis de déchets radioactifs et pour le fret ;
- au maintien des colis de déchets chez les producteurs de déchets jusqu'au moment où ils peuvent être acceptés et stockés sur le centre de stockage Cigéo et qu'il a été démontré qu'ils respectaient les spécifications d'acceptation du centre.

2.6 Un projet développé en dialogue avec la société

2.6.1 L'information et la communication locale

La mission d'information et de communication de l'Andra est inscrite dans la loi et fait partie intégrante de ses activités. Son ambition est de sensibiliser et d'impliquer la société civile d'aujourd'hui afin d'assurer la continuité avec la génération suivante. L'Andra s'efforce de fournir de l'information transparente, fréquente et régulière, et selon une approche pédagogique afin de permettre au public de comprendre les sujets en lien avec la gestion des déchets radioactifs.

L'Agence s'adresse en priorité à ceux qui sont les plus concernés par les déchets radioactifs – les riverains de ses centres et de ceux des producteurs de déchets - et ensuite à ceux qui prennent les décisions, qui représentent le public, aux relais d'information et plus largement à tout citoyen que le sujet intéresse.

Pour ce qui concerne le projet de centre de stockage Cigéo, l'Andra dispose d'une large palette d'outils de communication à destination des différents publics et notamment du grand public et des populations du territoire :

- les sites web de l'Agence s'adressent au grand public et fournissent des informations pédagogiques et illustrées ;
- le « Mag » de l'Andra, un magazine en ligne d'information regroupant des brèves et sujets de fond et proposant mensuellement un panorama complet de l'actualité de l'Andra et du Centre de Meuse/Haute-Marne (CMHM) ;
- les brochures d'information sur les différents sites, activités et projets de l'Andra ;
- le journal de l'Andra, une publication papier pour informer les riverains des centres de ses dernières actualités. l'édition Meuse Haute Marne est diffusée chaque trimestre à environ 200 000 exemplaires
- tous les ans, l'Andra publie son rapport annuel d'activité ainsi que celui de chacun de ses centres et donc du CMHM. Elle diffuse également d'autres rapports spécifiques : le rapport d'activité scientifique et technique, le rapport financier, le bilan du dialogue et de la concertation… ;
- l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs est publié tous les cinq ans. Toutes les données sont disponibles sur un site web dédié : inventaire.andra.fr. Depuis 2016, l'Andra met à disposition du grand public les données brutes de l'Inventaire national en Open data ;
- des documents scientifiques et techniques sont édités ponctuellement par l'Andra en lien avec l'avancée de ses travaux : des études (par exemple celles menées dans le cadre du PNGMDR), des notes (par exemple sur la réversibilité) ou encore des programmes de recherche (par exemple sur le stockage géologique) ;
- des dossiers et communiqués de presse sont diffusés régulièrement (brèves, communiqués et dossiers de presse), des conférences de presse locales et des voyages de presse sont organisés.

Un Comité local d'information et de suivi (Clis) a été créé pour le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne sur un modèle approchant les commissions locales d'information (CLI) des installations nucléaires créées par la loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (154).

LE COMITE LOCAL D'INFORMATION ET DE SUIVI

Depuis fin 1999 (cf. Figure 2-76), il existe auprès du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne implanté à Bure, une association dénommée « Comité local d'information et de suivi » (Clis) chargée d'une mission générale de suivi, d'information et de concertation en matière de recherche sur la gestion des déchets radioactifs et, en particulier, sur le stockage de ces déchets en couche géologique profonde. Le Clis a été créé par la loi de 1991 (cf. Chapitre 2.3.3.1 du présent volume) (50).

Ce comité comprend des représentants de l'État et de l'agence régionale de santé, deux députés, deux sénateurs et des élus des collectivités territoriales (consultées à l'occasion de l'enquête publique ou concernées par les travaux du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne), des représentants d'associations de protection de l'environnement, de syndicats agricoles, d'organisations professionnelles, d'organisations syndicales de salariés représentatives et de professions médicales, des personnalités qualifiées ainsi que l'Andra.

Le Clis est informé régulièrement des objectifs du programme du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, de la nature des travaux et des résultats obtenus dans le cadre des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs. Il est consulté sur toutes questions relatives au fonctionnement du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ayant des incidences sur l'environnement et le voisinage. L'Andra transmet régulièrement au Clis les informations et les documents relatifs à l'avancement du projet global Cigéo et répond aux questions de ses membres.

Il travaille en lien avec la Commission nationale d'évaluation (CNE) chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs et le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), créé par la loi du 13 juin 2006 (154), instance nationale d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires et l'impact de ces activités sur la santé de l'homme et de l'environnement et sur la sécurité nucléaire.



Figure 2-76 Première réunion du Clis le 15 novembre 1999

2.6.2 Le dialogue et la concertation

L'implication de la société et le pilotage démocratique ont été au cœur du projet de développement d'un stockage en couche géologique profonde depuis son initiation, comme le montrent les lois débattues et votées au Parlement (cf. Chapitre 2.3.3 du présent volume) et les débats publics organisés par la Commission nationale du débat public en 2005 (155), 2013 (104) et 2019 (156).

La démarche de dialogue et de concertation engagée par l'Andra sur le projet de centre de stockage Cigéo est au cœur des objectifs de l'Andra. L'Andra considère qu'elle permet d'améliorer la qualité des décisions relatives à la conception du projet de centre de stockage et répond aux exigences sociétales, éthiques et territoriales de ce projet. Le bilan de la concertation est présenté en « Pièce 14 - Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet de centre de stockage Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) du centre de stockage Cigéo (157).

Le processus de concertation est itératif : les études techniques alimentent la concertation et inversement.

LES DÉBATS PUBLICS DE 2005 ET 2013

- Le débat public de 2005

  Le débat public sur les options générales en matière de gestion des déchets radioactifs se tient du 12 septembre 2005 au 13 janvier 2006. Il est organisé pour éclairer les décisions ou les orientations qui pourront être prises par les pouvoirs publics, notamment dans la perspective des décisions nationales prévues en 2006 (échéance fixée par la loi dite « bataille » de 1991 (50)).

  Le 22 mars 2006, les ministères de l'Économie, des Finances et de l'Industrie et de l'Écologie et du Développement durable rendent publiques les suites qu'ils prévoient de donner à ce débat public (158). Ils proposent de retenir le stockage géologique comme « voie de gestion préférentielle pour les déchets de haute activité à vie longue », avec plusieurs conditions pour sa mise en œuvre :

  - ✓ l'utilisation d'installations d'entreposage pour recevoir les déchets avant leur gestion dans un centre de stockage ;
  - ✓ la réversibilité du stockage ;
  - ✓ la surveillance de ce dernier tout au long de son exploitation et durant la période de réversibilité.

  En juin 2006, sur la base du « Dossier 2005 - Argile » de l'Andra (159), des conclusions du débat public et de l'avis de la DGSNR (qui deviendra l'ASN) (160), le Parlement adopte la loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs le 28 juin 2006 (17). Le stockage profond réversible devient la solution de référence pour la gestion à long terme des déchets HA et MA-VL. L'État charge l'Andra de poursuivre ses études, afin de concevoir et d'implanter un centre de stockage dans la couche argileuse à environ 500 mètres de profondeur, au sein de la zone de 250 km² étudiée notamment au moyen du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

- Le débat public de 2013

  En 2013, le débat public sur le projet de centre de stockage Cigéo est organisé en application de la loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (article L. 542-10-1 du code de l'environnement). Il se tient du 15 mai au 31 juillet 2013, et est finalement prolongé jusqu'au 15 décembre 2013.

  À l'issue du débat public, l'Andra décide le 5 mai 2014 de poursuivre le projet, en y apportant quatre évolutions :

  - ✓ l'intégration d'une phase industrielle pilote au démarrage de l'installation ;
  - ✓ la mise en place d'un plan directeur pour l'exploitation (PDE) du centre de stockage Cigéo élaboré en concertation avec les parties prenantes et régulièrement révisé ;
  - ✓ un aménagement du calendrier ;
  - ✓ une implication renforcée de la société civile.

  Par ailleurs, l'Andra propose des définitions pour la réversibilité et pour la récupérabilité. Enfin, l'Agence renouvelle ou prend plusieurs engagements : maîtriser les coûts et chiffrer le projet, contribuer à la planification des aménagements nécessaires aux travaux de construction du centre de stockage Cigéo puis

à sa mise en service, créer un programme de recherche sur la mémoire du stockage, retenir l'option du raccordement ferroviaire pour l'acheminement des colis radioactifs jusqu'au centre de stockage.

La décision post-débat public de l'Andra est suivie de la loi du 25 juillet 2016 (37) précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute activité et moyenne activité à vie longue, qui reprend les évolutions du projet.

2.6.2.1 La concertation post-débat public menée par l'Andra

À la suite du débat public de 2013 consacré au projet de centre de stockage Cigéo, l'Andra a entendu les demandes exprimées par le public et a renforcé progressivement sa démarche de dialogue en impliquant plus largement et plus étroitement la société au développement du projet, en particulier les populations de son territoire d'accueil de Meuse et de Haute-Marne.

L'Andra a aussi accentué les démarches d'information et entrepris des premières initiatives de concertation sur des sujets ayant trait aux impacts environnementaux et territoriaux du projet. Cette nouvelle dynamique est formalisée dans une feuille de route de concertation post-débat public (161), Afin de concrétiser durablement la démarche d'ouverture à la société et de matérialiser la prise en compte des nouvelles dispositions du code de l'environnement relatives au dialogue environnemental. Par ailleurs, en début 2018, l'Andra a décidé d'adhérer à la charte de la participation du public pour le projet de centre de stockage Cigéo.

La feuille de route vise à :

- concevoir un dispositif d'ensemble adapté à l'ampleur du centre de stockage Cigéo et à son inscription sur un temps long ;
- rendre plus robuste le pilotage de la concertation par l'Andra, en associant les parties intéressées mais aussi les maîtres d'ouvrage partenaires du projet (alimentation électrique, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et déviation de la route départementale D60/960) ;
- ouvrir à la concertation les thèmes relatifs à la gouvernance du projet, à la conception du stockage et à l'insertion du projet dans son territoire ;
- proposer de nouvelles modalités de concertation favorables à l'expression du plus grand nombre, en intégrant les retours d'expérience des années précédentes et en recherchant l'élargissement des publics ;
- garantir une organisation pérenne et lisible du dispositif de concertation jusqu'à l'enquête publique de la demande d'autorisation de création, et au-delà.

Pour accompagner ses échanges avec le public, l'Andra sollicite la Commission nationale du débat public pour la nomination de garants. Lors de la séance du 8 novembre 2017 (162), la Commission désigne M. Pierre Guinot-Delery et M. Jean-Michel Stievenard comme garants chargés de veiller à la bonne information et à la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique préalable à la demande d'autorisation de création. Suite à la démission de M. Pierre Guinot-Delery, Mme Marie-Line Meaux et M. Jean-Daniel Vazelle sont également désignés garants le 6 juin 2018 par la Commission (163). En décembre 2019, M. Jean-Michel Stievenard ayant souhaité en être déchargé, la CNDP met fin à sa mission de concertation post-débat public. En 2022, l'équipe de garants qui accompagne l'Andra sur le projet de centre de stockage Cigéo est renforcée de manière temporaire jusqu'au retrait des garants actuels de la concertation. En effet, le 6 juillet 2022, M. Jean-Luc Campagne et Mme. Claire Morand sont désignés garants jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique sur la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo, en complément de Mme. Marie-Line Meaux et M. Jean-Daniel Vazelle (164).

En mai 2020, les garants remettent un bilan intermédiaire sur la concertation post-débat public relative au projet de centre de stockage Cigéo (165) (cf. Annexe 2.5.1 de la pièce 14 du présent dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage Cigéo (DAC)). En mars 2021, les garants publient un rapport d'activité relatif à la concertation post-débat public sur le projet de centre de stockage Cigéo (166) (cf. Annexe 2.5.2 de la « Pièce 14 - Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet de centre de stockage Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (167)). Un second rapport intermédiaire, portant sur la séquence de concertation du 28 janvier 2021 au 14 mars 2022, a été publié en mai 2022 (168) (cf. Annexe 2.5.3 de la « Pièce 14 - Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet de centre de stockage Cigéo » du présent dossier).

Cette feuille de route (cf. Figure 2-77) présente les grandes orientations de la concertation locale et nationale et décline les deux grands enjeux du projet : l'insertion environnementale et territoriale et le développement et le déploiement du projet de centre de stockage Cigéo.

» LA CONCERTATION « POST-DÉBAT PUBLIC » (SOURCE CNDP)

La Commission nationale du débat public (CNDP), autorité administrative indépendante créée par la loi du 27 février 2002 (169), est chargée de veiller au respect de la participation du public durant le processus d'élaboration des projets d'aménagement ou d'équipement d'intérêt national, régional ou local, ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire.

Pour ce type de projets, le code de l'environnement prévoit deux procédures participatives : le débat public et la concertation préalable. Elles visent à garantir le droit à l'information et à la participation du public et elles sont décidées et gérées par la CNDP.

Lorsqu'un débat public a été mené, la concertation avec le public ne s'arrête pas à la clôture de ce débat. Une concertation publique dite « post-débat public » ou « continue » peut-être organisée par le maître d'ouvrage sous l'égide d'un ou plusieurs garants désignés par la CNDP. Comme toutes les concertations, elle a pour objectif de recueillir les avis des parties prenantes et/ou du grand public sur un projet, avant que les décisions structurantes du projet ne soient prises et durant sa phase de réalisation.

Cette concertation fait le plus souvent l'objet d'une feuille de route définie en lien avec le ou les garants. Elle peut donner lieu à des réunions publiques, des modules de participation en ligne, des comités de pilotage, des ateliers territoriaux ou thématiques qui doivent faire l'objet de comptes rendus publics. Cette concertation « post-débat public » se déroule sur un temps long, au fur et à mesure que le projet se précise et généralement jusqu'à la réception des équipements et travaux et jusqu'au démarrage du projet. Le rôle des garants consiste à veiller à ce que le public soit régulièrement informé des résultats des discussions et puisse donner son avis. Il rédige également des rapports pour rendre compte de son activité et de la manière dont se déroule la concertation « post-débat public ».

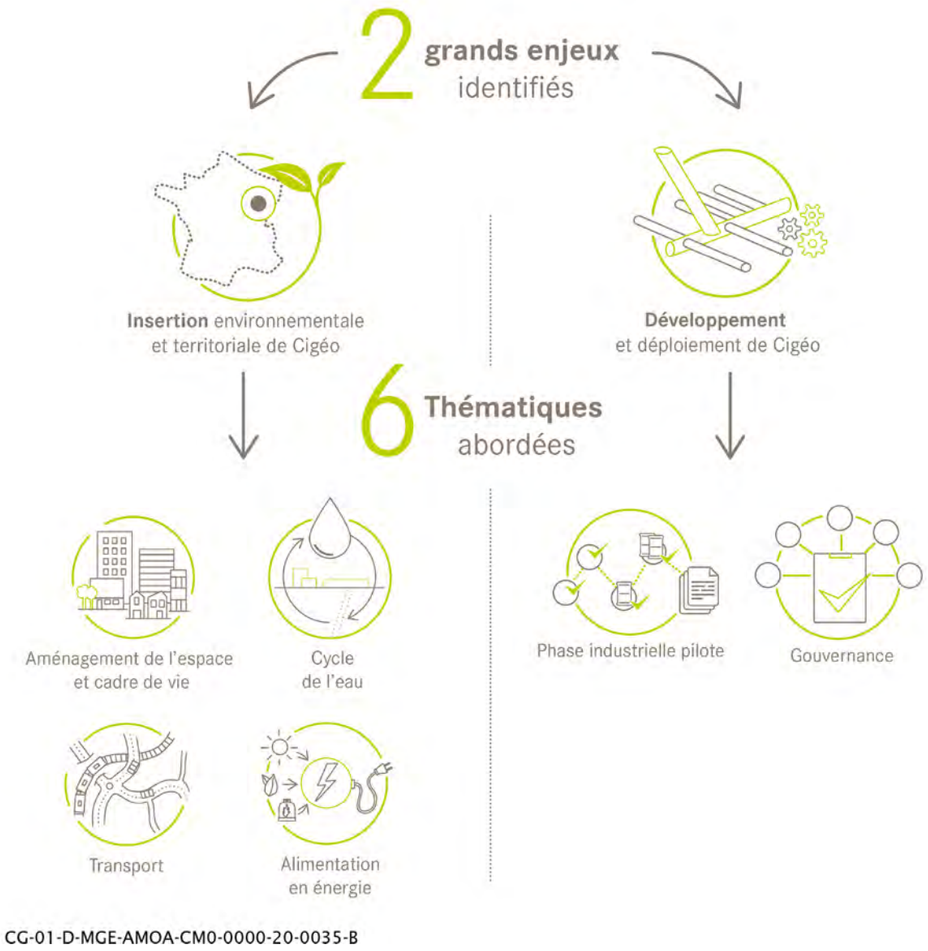


Figure 2-77 Feuille de route de la concertation post-débat public

Outre les garants, la feuille de route est suivie directement par les parties prenantes de la concertation. Une réunion périodique, dénommée « rendez-vous de partage », ayant lieu une à deux fois par an, permet d'impliquer les parties prenantes locales à la définition des contours de la démarche de concertation, de consolider les orientations prises par l'Agence pour associer les différents publics du territoire de Meuse et de Haute-Marne sur les thématiques identifiées et de faire un point général sur le déroulé et les résultats de la concertation déployée au cours du semestre précédent.

À ce jour, six rendez-vous de partage ont été organisés avec ces objectifs (détail des thématiques abordées dans le tableau ci-dessous).

Tableau 2-10 Les rendez-vous de partage de la concertation

Date des derniers rendez-vous de partage	Thématiques abordées en réunion
15 mars 2018	Le premier rendez-vous de partage s'est tenu à l'Andra en présence d'une cinquantaine d'acteurs locaux qui ont salué le lancement de cette nouvelle phase de concertation (161).
10 octobre 2018	Le deuxième rendez-vous de partage a fait le bilan de la concertation sur la liaison intersites, l'installation terminale embranchée et les rejets d'effluents liquides (170).
26 septembre 2019	Le troisième rendez-vous de partage a permis de faire le bilan des premiers échanges sur les besoins énergétiques du centre de stockage Cigéo et du territoire, d'informer sur les prochaines concertations à venir et sur le calendrier du projet de centre de stockage Cigéo (171).
22 septembre 2020	Le quatrième rendez-vous de partage a notamment permis de présenter les principaux enseignements des concertations relatives au raccordement au réseau de transport d'électricité menée par RTE et à la mise en compatibilité des documents d'urbanisme menée par le ministère de la Transition écologique (MTE) (172). Il a également été l'occasion pour les garants de la concertation post débat public de rappeler leurs missions et présenter leur bilan de mi-étape de la concertation.
10 septembre 2021	Un cinquième rendez-vous de partage a été proposé pour faire le point sur la concertation menée par SNCF Réseau sur la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 du réseau ferré national (ligne fret entre Nançois-Tronville – Gondrecourt-le-Château) et sur la concertation menée par l'Andra sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du centre de stockage Cigéo. De plus elle a été l'occasion d'évoquer l'enquête publique relative à la demande d'utilité publique demandée par l'Andra qui a débutée quelques jours après.
26 octobre 2022	Un sixième rendez-vous de partage avait pour objectif de partager le bilan de la concertation sur le projet de la déviation de la route départementale D60/960 et sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du projet. L'occasion également de présenter Claire Morand et Jean-Luc Campagne désignés garant et garante de l'information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo, en complément de Mme Marie-Line Meaux et de M. Jean-Daniel Vazelle, désignés le 6 juin 2018.

Par ailleurs, l'Andra lui rend compte régulièrement de l'avancement de la concertation post-débat public au comité éthique et société (CES). Le comité éthique et société, créé à l'initiative de l'Andra et suite au débat public de 2013 pour répondre à une demande forte de plus grande implication de la société à la gestion des déchets radioactifs, a pour missions d'éclairer, de faire progresser, de donner des avis et d'évaluer l'Agence sur la prise en compte effective des enjeux éthiques, citoyens et sociétaux dans ses activités et ses projets, ainsi que le dialogue et l'implication des parties prenantes et intéressées dans ses activités et projets.

Il a ainsi publié trois avis sur la gouvernance du centre de stockage Cigéo. Le premier relatif à la participation du public dans la phase d'élaboration du volet gouvernance du plan directeur d'exploitation du centre de stockage Cigéo (173), un deuxième portant sur les principes et modalités de la gouvernance proposés pour le plan directeur d'exploitation (174) et un troisième qui présente une contribution au projet de gouvernance de Cigéo (175). En outre, à l'occasion du débat public de 2019 sur le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), il a également rendu public un avis sur la thématique : « Quels enjeux éthiques et politiques pour la gestion des déchets radioactifs ? » (176). Le comité éthique et société a également rendu un avis sur la thématique « Territoire » en 2020 (177).

2.6.2.2 La concertation locale sur l'insertion territoriale et environnementale du projet global Cigéo

En complément des lois, des débat publics et des échanges réguliers avec le Clis, des concertations organisées par l'Andra et les autres maîtres d'ouvrage du projet global Cigéo[140] (cf. Chapitre 1 du volume I de la présente étude d'impact) permettent de prendre en compte les préoccupations du territoire et de préparer l'intégration du projet. L'intégration du projet global Cigéo est un enjeu fort pour l'Andra et le territoire, ainsi qu'une opportunité de développement économique local.

2.6.2.2.1 L'intégration du projet global Cigéo dans un projet de développement du territoire (PDT) piloté par la préfecture de Meuse

L'Andra a été associée aux travaux conduits afin d'établir un projet de développement du territoire (PDT) piloté par la préfecture de Meuse, coordinatrice pour les deux départements, dont l'objet est de préparer l'arrivée du projet global Cigéo tout en contribuant au développement territorial.

Les échanges permettent de coordonner les actions d'un grand nombre d'acteurs locaux : préfectures de la Meuse et de la Haute-Marne, services déconcentrés de l'État, parlementaires meusiens et haut-marnais, collectivités territoriales, intercommunalités, maires des communes avoisinantes, représentants des communautés de communes concernées par l'élaboration des documents d'urbanisme et de planification (schémas de cohérence territoriale (SCoT), PLU et PLUi…), chambres consulaires, groupements d'intérêt public (GIP).

Les actions de ce projet de développement du territoire visent à définir notamment différents aménagements (liaisons routières, développement de l'habitat, télécommunications, services à la population) et à accompagner le développement économique (mises en valeur de l'attractivité du territoire, connaissance des compétences locales…). Ces actions sont réalisées indépendamment du projet global Cigéo en tenant compte des équilibres locaux.

» OPERATION D'INTERET NATIONAL (OIN)

Le projet, porté par le gouvernement, de création d'une OIN sur le territoire d'implantation du centre de stockage Cigéo vise à répondre aux enjeux d'aménagement du territoire. Cet outil permet à l'État de prendre en compte la situation interdépartementale du projet et de veiller à développer, dans une approche globale et intégrée, un aménagement cohérent sur les différents territoires concernés.

Cette vision de l'État sur les enjeux et orientations d'aménagement du territoire a été construite en associant les collectivités concernées. À ce titre, sous l'égide de l'État, une consultation des collectivités territoriales et de leurs groupements associés concernés est d'abord intervenue de septembre à décembre 2021. Le décret inscrivant le projet Cigéo parmi les opérations d'intérêt national a, quant à lui, fait l'objet d'une publication au Journal officiel le 8 juillet 2022 (178).

2.6.2.2.2 L'insertion territoriale et environnementale du projet global Cigéo

Le centre de stockage Cigéo nécessite des aménagements et des infrastructures qui transforment le territoire. Il est essentiel que les acteurs locaux et les habitants soient associés et participent aux réflexions pour répondre au mieux à leurs préoccupations et leurs attentes.

L'Andra a établi, en lien avec les garants, un programme local de conférences, de réunions et d'ateliers sur quatre thématiques (cf. Figure 2-78), pour nourrir le dossier de la déclaration d'utilité publique et son étude d'impact :

- la thématique « cycle de l'eau » ;
- la thématique « infrastructures de transport » ;
- la thématique « énergie » ;

la thématique « aménagement de l'espace et cadre de vie ». En 2018, l'Andra a organisé 10 rencontres, regroupant près de 500 participants sur les thèmes « cycle de l'Eau » (147) et « infrastructures de transports » (179, 180).

En 2019, deux thématiques d'échanges avec le territoire sont ouvertes par l'Andra, tout en s'assurant de la bonne coordination avec le débat public sur le PNGMDR :

- la thématique « énergie » avec l'alimentation en énergie du centre de stockage Cigéo. Un cycle de concertation de 4 conférence et ateliers de travail collaboratif, regroupant plus de 170 participants (181) a été conduit par l'Andra au premier semestre 2019.
- la thématique « aménagement de l'espace et cadre de vie ». Les échanges ont débuté à l'automne 2019 et se dérouleront sur plusieurs années, jusqu'à accompagner la phase de construction initiale du centre de stockage Cigéo, si celui-ci est autorisé.

Dans le cadre de cette thématique, les enjeux « chantier » ont fait l'objet d'une réunion dédiée le mardi 27 octobre 2020 à Gondrecourt-le-Château. À l'issue de cette dernière, l'Andra s'est engagée à constituer un groupe de suivi de chantier, notamment pour travailler sur l'élaboration et le suivi d'une charte de chantier pour le projet du centre de stockage Cigéo (182). Par la suite, seront susceptibles d'être abordés des thèmes tels que l'insertion paysagère, l'architecture et l'usage des bâtiments, ainsi que le suivi de l'environnement.

Entre 2020 et 2022, la concertation s'est poursuivie avec certaines opérations du projet global Cigéo ne relevant pas de la maîtrise d'ouvrage de l'Andra :

- la concertation préalable à la mise en comptabilité des documents d'urbanisme menée par le ministère de la Transition écologique entre le 6 janvier et le 14 février 2020. Cette concertation, durant laquelle un atelier et une réunion publique ont été organisés, s'est tenue dans la perspective du dépôt de la demande de déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo et visait à informer et débattre des objectifs et orientations proposées pour assurer la mise en comptabilité du schéma de cohérence territoriale (SCoT) du Pays Barrois, du plan local d'urbanisme intercommunal (PLUi) de la Haute-Saulx et du plan local d'urbanisme (PLU) de Gondrecourt-le-Château avec le projet de centre de stockage Cigéo. La garante de la concertation, Marie-Line Meaux, a publié son bilan le 13 mars 2020 (183). Le ministère de la Transition écologique et solidaire a exposé les enseignements et suites données à la concertation dans son bilan publié le 11 mai 2020 (184). Le ministère s'est engagé à renforcer le lien entre, d'une part les services déconcentrés de l'État et les préfectures de Meuse et Haute-Marne et d'autre part les représentants des collectivités locales afin de pouvoir articuler au mieux les enjeux de ces collectivités et ceux du projet de centre de stockage Cigéo. Il propose aussi que les sujets plus opérationnels soient développés par l'Andra dans le cadre de la concertation « aménagement et cadre de vie » prévue par la feuille de route de la concertation post-débat public ;
- la concertation préalable relative au raccordement au réseau de transport d'électricité (cf. Chapitre 2.4.2.2 du présent volume) du projet de centre de stockage Cigéo (110), organisée par RTE du 13 janvier au 12 février 2020, qui a fait l'objet de deux réunions publiques et d'une visite de site. Le garant de la concertation, Jean-Michel Stievenard (185), a remis son bilan le 13 mars 2020 (109). Les suites données à la concertation préalable relative au raccordement du centre de stockage Cigéo ont été présentées par RTE en mai 2020 (110). RTE a proposé de retenir l'emplacement 3S privilégié par les participants à la concertation préalable. La solution retenue parmi six variantes (cf. Chapitre 2.4.2.2 du présent volume), entérinée par la préfète de la Meuse le 24 février 2022 (186), fera l'objet d'un approfondissement des études et d'une actualisation de la présente étude d'impact ;
- la concertation préalable relative à la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 du réseau ferré national (ligne fret entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château – (cf. Chapitre 2.4.2.4 du présent volume), organisé par SNCF Réseau, du 3 mai au 21 juin 2021 (113). Huit réunions et ateliers ont permis aux riverains de s'informer et participer en complément de diverses modalités d'échanges (coupons T, modules de participation en ligne, sondage). Les garants de la concertation, M. Jean-Daniel Vazelle et M. Luc Martin (187), ont remis leur bilan le 28 juillet 2021 (112). SNCF Réseau a publié son bilan en septembre 2021 (113). La suppression d'un minimum de 22 passages à niveau sur 59 n'a pas suscité d'opposition de principe. SNCF s'est engagée à maintenir le dialogue avec le territoire et à optimiser les aménagements de la ligne afin d'améliorer son insertion locale.

[140] Le projet global Cigéo, étudié dans la présente étude d'impact, recouvre le centre de stockage Cigéo et les opérations (installations, aménagements et constructions d'ouvrages) nécessaires à sa réalisation et à son fonctionnement. Il comprend des opérations sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra et des opérations sous maîtrises d'ouvrages tierces.

La concertation relative aux variantes de tracés possibles pour la déviation de la route départementale D60/960 (cf. Chapitre 2.4.2.5 du présent volume) menée par le conseil départemental de Haute-Marne du 31 janvier au 11 mars 2022 (188). Trois réunions publiques ont été organisées ainsi que deux réunions spécifiques avec les élus et agriculteurs du territoire. D'autres modalités d'échanges ont été mises en place (dépôts d'avis en ligne, coupons T, visite de terrain, atelier participatif). Marie-Line Meaux et Ludovic Schneider, désignés garants de cette concertation (114), ont publié leur bilan en avril 2022 (115). Le conseil départemental de la Haute-Marne a publié son bilan le 20 mai 2022 (116). le Conseil départemental de la Haute-Marne abandonne l'idée d'un contournement par le sud (option 3) et s'engage à poursuivre les études sur les options nord. L'option 1 dite « de proximité » reste à ce stade l'option de référence dans la mesure où l'essentiel des discussions lors des rencontres ou dans les contributions s'est concentré sur cette option considéré plus pratique, avec moins d'impacts sur le foncier et un coût moins important. Le Conseil départemental reviendra vers le public pour présenter les résultats de l'examen des options de tracé, et ce en amont de la délibération des assemblées départementales de Haute-Marne et de Meuse pour acter le tracé retenu.



Figure 2-78 Ateliers de concertation autour du projet global Cigéo

2.6.2.3 La concertation sur les enjeux de développement et de déploiement du centre de stockage Cigéo

Dans le cadre de la concertation sur le développement et le déploiement du projet Cigéo, deux concertations parallèles ont été organisées en 2021 et 2022, aux échelles locales et nationales, sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du projet Cigéo. Les enseignements qui en sont issus sont venus nourrir les réflexions sur ces sujets dans la perspective du dépôt du présent dossier de demande d'autorisation de l'INB Cigéo.

Les concertations sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du projet se sont respectivement déroulées du 28 janvier 2021 et du 7 mai 2021 jusqu'au 15 mars 2022. Elles ont permis d'informer le public et les parties prenantes sur le déroulement de la phase industrielle pilote et le fonctionnement de la gouvernance du centre de stockage Cigéo. Elles visaient également à recueillir leurs questions, observations et éventuelles recommandations pour enrichir les propositions initiales de l'Andra sur ces deux sujets.

2.6.2.3.1 La phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo

Le développement du centre de stockage Cigéo est organisé en plusieurs phases successives. Le principe d'une phase industrielle pilote a été retenu par l'Andra suite au débat public mené en 2013 sur le projet. Il s'agissait de concrétiser la démarche prudente proposée par l'Agence pour la construction et le démarrage progressif d'une installation industrielle d'un type nouveau. Ce principe a été confirmé par la loi du 25 juillet 2016 (37) qui lui associe une loi, ultérieure, pour décider des conditions de poursuite du stockage.

Du point de vue technique, la phase industrielle pilote répond à un double objectif :

- conforter *in situ*, dans les conditions réelles d'environnement, de construction et de fonctionnement industriel du centre de stockage, les données utilisées pour sa conception et pour sa démonstration de sûreté ;
- prendre en main progressivement l'exploitation de l'installation industrielle.

Du point de vue de la gouvernance, la phase industrielle pilote constitue, pour la participation du public et des parties prenantes, une phase de mise en place, de rodage et d'acquisition de connaissances, au même titre que les essais dans l'installation pour les aspects techniques.

Sous réserve que l'installation nucléaire du centre de stockage Cigéo soit autorisée suite à l'instruction de sa demande d'autorisation de création (DAC), son déploiement sera donc progressif. Le projet sera jalonné de décisions, de rendez-vous de gouvernance et d'autorisations qui permettront de réinterroger le bien-fondé des décisions précédentes et de faire évoluer le projet. Les attentes relatives à la participation du public sur ces deux sujets sont donc communes, ce qui a justifié la tenue des deux concertations de manière concomitante avec certaines modalités conjointes et la publication d'un bilan commun (189).

La concertation sur la phase industrielle pilote visait à présenter, clarifier et discuter de :

- la phase industrielle pilote, telle que proposée au lancement de la concertation, en termes de démarche de déploiement du centre de stockage ;
- les éléments de connaissance à acquérir en phase industrielle pilote et à apporter au Parlement pour fonder sa décision relative aux conditions de poursuite du stockage à l'horizon 2040-2050 ;
- l'organisation de la phase industrielle pilote proposée par l'Andra et son périmètre ;
- le déroulement de la phase industrielle pilote proposée par l'Andra en termes de processus décisionnel ;
- l'articulation de la phase industrielle pilote proposée par l'Andra avec les exercices périodiques prévus par la réglementation en lien avec l'exploitation de Cigéo (mises à jour du plan directeur de l'exploitation, revues de réversibilité, réexamens de sûreté) ;
- les rapports préparés par l'Andra pendant la phase industrielle pilote.

Plusieurs modalités d'information et d'échanges ont été mises en place en 2021 et en 2022 :

- la mise à disposition du public, sur la plateforme de concertation de l'Andra, du dossier de concertation (142), et sa synthèse (190), présentant les propositions de l'Andra sur la phase industrielle pilote
- une réunion publique en ligne, le 28 janvier 2021, d'ouverture de la concertation sur la phase industrielle pilote co-organisée avec la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) du ministère de la Transition écologique (MTE), qui a réuni près de 280 participants (191) ;
- des modules de participation en ligne[141] ouverts du 7 mai 2021 au 15 mars 2022 ;
- une conférence de citoyens réunissant 17 citoyens tirés au sort, qui s'est tenue du 28 mai au 10 juillet 2021. À son issue, les participants ont produit un avis citoyen qui comporte diverses recommandations relatives à la phase industrielle pilote (192) ;
- des rencontres avec 14 parties prenantes au projet (producteurs de déchets, associations, acteurs locaux, syndicats, organismes de recherches et scientifiques) entre septembre 2021 et janvier 2022[142] ;
- une réunion publique en ligne, le 14 février 2022, de retour sur les concertations sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du projet Cigéo, co-organisée avec la DGEC du MTE, qui a réuni près de 160 participants (193).

[141] https://concertation.andra.fr/project/la-phase-industrielle-pilote-de-cigeo/consultation/reagir-aux-propositions-de-landra-pour-la-phase-industrielle-pilote

[142] https://concertation.andra.fr/project/la-phase-industrielle-pilote-de-cigeo/presentation/rencontres-avec-les-parties-prenantes

Les apports de cette concertation viendront également contribuer à la définition des orientations de la prochaine édition du PNGMDR, qui présentera « *les objectifs et les critères de réussite de la phase industrielle pilote* » « *ainsi que les modalités d'association du public aux étapes structurantes de développement du projet Cigéo* » (143).

Les apports de cette concertation et les évolutions éventuelles du projet sont retranscrits principalement dans le bilan dédié (189) et l'édition du « Plan directeur de l'exploitation » (PDE) du centre de stockage Cigéo jointe à la demande d'autorisation de création (31), ou dans ses éditions ultérieures. Afin de garantir la participation des citoyens tout au long de la vie de l'installation de stockage en couche géologique profonde et conformément à la loi de 2006, codifiée dans l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, l'Andra produit un PDE mis à jour tous les cinq ans, en concertation avec les parties prenantes et le public. Une première version de ce Plan directeur de l'exploitation a été formalisée par l'Andra en 2016 sur la base des études d'avant-projet du projet (92) .

2.6.2.3.2 La gouvernance du centre de stockage Cigéo

L'Andra propose que la « gouvernance du centre de stockage Cigéo » recouvre la façon dont sont préparées, prises et suivies des décisions, du ressort de l'Andra, relatives au développement et au fonctionnement du centre de stockage. Cette gouvernance doit permettre d'associer tout au long de la vie du stockage les acteurs nationaux et locaux, les parties prenantes et le public. La concertation a permis de présenter, clarifier et discuter notamment des propositions de l'Andra en matière de :

- rôle des parties prenantes et du public dans la gouvernance du centre de stockage ;
- modalités d'association des parties prenantes et du public à la gouvernance du centre de stockage ;
- types de décisions qui seront soumis à la gouvernance du centre de stockage ;
- leviers pour garantir le bon fonctionnement de la gouvernance du centre de stockage ;
- durée de la gouvernance du centre de stockage ;
- principes de fonctionnement et valeurs de la gouvernance du centre de stockage.

Plusieurs modalités d'information et d'échanges ont été mises en place en 2021 et 2022 :

- la mise à disposition du public, sur la plateforme de concertation de l'Andra, d'un dossier (194), et de sa synthèse (195), présentant les propositions de l'Andra en matière de gouvernance du centre de stockage ;
- un module de participation en ligne pour recueillir les contributions du public sur les propositions de l'Andra en matière de gouvernance du centre de stockage Cigéo[143]. Les participants étaient invités à donner leur avis sur les propositions de l'Andra selon quatre thématiques : la définition et le périmètre de la gouvernance, son fonctionnement et l'association du public à sa définition. Les propositions de l'Andra ont recueilli 46 votes, 9 commentaires et 4 nouvelles propositions ont été déposées, pour un total de 18 participants ;
- des rencontres avec 14 parties prenantes au projet (producteurs de déchets, associations, acteurs locaux, syndicats, organismes de recherches et scientifiques) entre septembre 2021 et janvier 2022[144] ;
- une réunion publique en ligne, le 14 février 2022, de retour sur les concertations sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du projet Cigéo, co-organisée avec la DGEC du MTE, qui a réuni près de 160 participants (193).

Les apports de cette concertation et les évolutions éventuelles du projet seront retranscrits principalement dans l'édition de la pièce 16 « Plan directeur de l'exploitation » (31) jointe au présent dossier de DAC, ou dans ses éditions ultérieures, ainsi que dans le bilan dédié (189).

» LE DÉBAT PUBLIC DE 2019 SUR LE PNGMDR

Le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), porté par la Direction générale de l'énergie et du climat ainsi que par l'Autorité de sûreté nucléaire, a été pour la première fois soumis au débat public, à la suite de la modification du code de l'environnement par une ordonnance du 3 août 2016 (108, 196). Celle-ci prévoit que la Commission nationale du débat public soit saisie de tous les plans et programmes d'importance nationale et décide des modalités d'organisation de la participation du public.

Dans les mois suivant la décision de la CNDP (197), la Commission particulière du débat public (CPDP) est formée : Isabelle Harel-Dutirou est nommée présidente ; Michel Badre, Pierre-Yves Guiheneuf, Lucie Anizon (ultérieurement remplacée par Juliette Rohde), Catherine Larrère, Antoine Tilloy, Isabelle Barthe et Philippe Quevremont sont nommés membres. Les garants de la concertation post-débat public sur le projet de centre de stockage Cigéo sont intégrés dans la CPDP.

Le PNGMDR, document programmatique, aborde tous les sujets liés à la gestion des matières et déchets radioactifs, incluant le projet de centre de stockage Cigéo. Le débat public sur le projet de Plan s'est tenu du 17 avril au 25 septembre 2019 selon différentes modalités de concertation :

- six réunions publiques généralistes et 16 rencontres thématiques, dont la réunion publique du 20 juin 2019 à Bar-le-Duc, dédiée aux alternatives au stockage géologique ;
- un exercice de clarification des controverses techniques, afin d'apporter une vision synthétique des différents points de vue en présence sur des éléments techniques considérés comme controversés ;
- un groupe miroir, composé de citoyens tirés au sort, qui décide de traiter la question suivante : « *Que nous a-t-on légué et que léguerons-nous à nos enfants ?* » ;
- un atelier de la relève, composé de 40 étudiants, qui a participé à une « mise en situation de gestion des déchets radioactifs », à partir de jeux dits « *serious games* » portant sur la gestion des déchets de haute activité et des déchets de très faible activité.

Le 25 novembre 2019, la CPDP et la présidente de la CNDP remettent respectivement le compte rendu du débat public (198) et le bilan du débat public (21).

Concernant spécifiquement le projet de centre de stockage Cigéo, la CPDP constate que « quatre grandes préoccupations ont été entendues lors du débat public : la réalité de la réversibilité du projet, la sûreté du stockage ; la prise en compte de l'intérêt des générations futures et le coût du projet ».

Le 21 février 2020, la DGEC et l'ASN rendent publiques les suites données au débat public sur le PNGMDR (143).

» LA CONCERTATION POST-DEAT PUBLIC SUR LA 5E EDITION DU PNGMDR

Une concertation post-débat public sur la 5e édition du PNGMDR, menée par le ministère de la Transition écologique (MTE) et sous l'égide de trois garants indépendants nommés par la CNDP, s'est tenue du 11 septembre 2020 au 13 avril 2021. Elle avait pour objectif d'informer le public sur la déclinaison envisagée des grandes orientations du plan et de recueillir ses avis et contributions, avant de formaliser la nouvelle version du PNGMDR.

Elle s'est articulée autour de réunions publiques et de la mise à disposition d'un site dédié[145] pour la concertation sur lequel était mis à disposition du public un corpus documentaire, dont notamment les propositions du ministère pour la prochaine édition du PNGMDR, l'avis de la commission d'orientation sur ces propositions et les attentes des garants sur la déclinaison des orientations définies dans la décision du 21 février 2020 (143). Le site internet permettait également la participation du public via un espace de question/réponse et de dépôt de contributions écrites.

Cinq réunions de concertation ont été organisées sur des thématiques de la concertation pour lesquelles le public avait montré des attentes particulières dans le cadre du débat public, dont une dernière, organisée le 8 mars 2021, qui a permis de présenter les premiers enseignements de la concertation. À la suite de ces temps d'échanges, le MTE a établi un bilan de la concertation post-débat public (199). Les garants de la concertation ont également produit un rapport rendu public à l'été 2021 (200) ainsi qu'un rapport en vue de la consultation publique qui a été publié en janvier 2022 (201).

Le projet de PNGMDR (202) a été transmis pour avis à l'Autorité environnementale (23) et soumis à consultation du public du 13 mai au 16 juin 2022.

En parallèle de cette concertation et en articulation avec cette dernière, le ministère a fait le choix de mettre en place une commission pluraliste d'« *orientations*» du PNGMDR, présidée par M. Michel Badré, une personnalité qualifiée indépendante du ministère. Le ministère a confié à cette commission la mission de formuler des avis

[143] https://concertation.andra.fr/project/cigeo-gouvernance/consultation/reagir-aux-propositions-de-landhra
[144] https://concertation.andra.fr/project/la-phase-industrielle-pilote-de-cigeo/presentation/rencontres-avec-les-parties-prenantes

[145] https://www.concertation-pngmdr.fr/

sur la déclinaison des orientations stratégiques proposées pour le plan et de l'accompagner dans son élaboration.

Le PNGMDR 2022-2026 a été publié par le décret n° 2022-1547 et l'arrêté du 9 décembre 2022 (25) prévus par 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 (24).

2.6.2.4 L'enquête publique de 2021 préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo

Dans le cadre de la procédure d'instruction du dossier de demande de déclaration d'utilité publique (DUP)[146] du centre de stockage Cigéo, et de la mise en compatibilité associée de trois documents d'urbanisme en Meuse (Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) du Pays Barrois (203), Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi) de la Haute-Saulx (204), Plan Local d'Urbanisme (PLU) de Gondrecourt-le-Château (205)), une enquête publique s'est tenue entre le 15 septembre et le 23 octobre 2021.

Par l'ordonnance n° E21000040/54 du 24 juin 2021 modifiée par l'ordonnance du 12 juillet 2021 (206), la présidente du tribunal administratif de Nancy a désigné une commission d'enquête pour l'enquête publique composée ainsi (206) :

- président : Claude BASTIEN ;
- membres titulaires : Suzanne GERARD, Sylvie HELYNCK, François BRUNNER et Thierry MARCHAL.

Diverses modalités d'information et de participation du public ont été mises en place par la commission d'enquête, conformément aux dispositions de l'arrêté préfectoral du n° 2021-2068 du 9 août 2021 (207) :

- une réunion d'information et d'échanges avec le public le vendredi 17 septembre 2021 à Gondrecourt-le-Château. Après 15 minutes, le président de la commission d'enquête a pris la décision de suspendre la réunion compte tenu des perturbations en salle ;
- 24 permanences dans six communes (quatre en Meuse et deux en Haute-Marne : Bure, Gondrecourt-le-Château, Mandres-en-Barrois, Montiers-sur-Saulx, Saudron, Cirfontaines-en-Ornois) ;
- permanences téléphoniques les 25 septembre, 5 octobre, et 20 octobre 2021 ;
- mise à disposition du dossier d'enquête publique en format papier et d'un registre d'enquête papier dans les 12 communes concernées par le projet (Bonnet, Bure, Gondrecourt-le-Château, Horville-en-Ornois, Houdelaincourt, Mandres-en-Barrois, Montiers-sur-Saulx, Ribeaucourt, Saint-Joire, Saudron, Gillaumé, Cirfontaines-en-Ornois) ainsi que dans les préfectures de Bar-le-Duc et Chaumont et les sous-préfectures de Commercy et Saint Dizier ;
- mise à disposition du dossier de demande de déclaration d'utilité publique sur le site du registre dématérialisé de l'enquête publique[147] pendant le temps de son déroulement. Ce dossier avait préalablement été mis en ligne dès novembre 2020 sur le site internet de l'Andra[148] afin de garantir au plus tôt l'information du public ;
- un registre d'enquête dématérialisé était ouvert le temps de l'enquête publique sur un site dédié[149].

L'enquête publique a permis une large participation du public avec un total de 4 158 contributions enregistrées et analysées par la commission d'enquête.

Le 2 novembre 2021, la commission d'enquête a remis à l'Andra le procès-verbal de synthèse des observations recueillies lors de l'enquête publique. Un additif a été transmis le 17 novembre 2021. Un mémoire en réponse à ces observations a été remis par l'Andra à la commission d'enquête le 23 novembre 2021, avant que ne soit publié le rapport (208) et les conclusions de la commission d'enquête (209) en date des 19 et 18 décembre 2021. La commission d'enquête a rendu un avis favorable à la déclaration d'utilité publique assorti de cinq recommandations :

- établir un échéancier prudent des aménagements préalables dans l'occurrence de l'obtention des autorisations ;
- veiller à une insertion paysagère harmonieuse avec le paysage rural ;
- procéder à un défrichement progressif du bois Lejuc, aux seuls besoins de la DRAC afin de préserver au maximum la biodiversité ;
- maintenir un écran visuel sur la partie sud pour préserver les vues depuis les villages environnants ;
- compléter la communication envers le public de son territoire proche et l'adapter en fonction de la phase opérationnelle du projet Cigéo, tout en reconnaissant l'importance de la communication déjà réalisée par le maître d'ouvrage ;
- un avis favorable à la mise en compatibilité des documents d'urbanisme qui ne présente pas, selon la commission, d'inconvénients excessifs par rapport à l'utilité publique qu'elle présente.

La déclaration d'utilité publique du centre de stockage (1) Cigéo, et l'inscription du projet parmi les opérations d'intérêt national (178), ont été prononcées par deux décrets de la Première ministre en date du 7 juillet 2022, pris après avis du Conseil d'État. Les deux décrets ont été publiés au Journal officiel le 8 juillet 2022.

2.6.2.5 L'engagement de poursuite du dialogue et de la concertation

En dehors des enquêtes publiques passées et à venir sur le projet en lien avec l'instruction des différents dossiers de demande réglementaires (demande d'autorisation de création, autorisation environnementale…), et au vu de l'échelle de temps du projet global Cigéo, les démarches de concertation et le dialogue seront conduites durablement aux échelles locales et nationales.

2.6.2.5.1 La poursuite des concertations relatives au développement et au déploiement du centre de stockage Cigéo

La concertation post-débat public sur le projet de centre de stockage Cigéo, accompagné de garants de la CNDP, a vocation à se poursuivre jusqu'à l'enquête publique relative à la demande d'autorisation de création. Au-delà, la participation du public sera, *a minima*, conduite dans le cadre de la gouvernance du centre de stockage Cigéo.

Concernant les enjeux de développement et de déploiement du centre de stockage Cigéo, les concertations menées en 2021 et 2022 sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du centre de stockage Cigéo constituent une première phase d'échanges. En effet, pour l'Andra, trois temps de participation du public et des parties prenantes sont *a priori* nécessaires pour définir progressivement le contenu de la phase industrielle pilote :

- les concertations menées en 2021 et 2022 ayant vocation à préfigurer la phase industrielle pilote, ses grands enjeux, ses principes et son déroulement, mieux définir la gouvernance du centre de stockage Cigéo et en préciser les modalités ;
- les échanges pendant l'instruction du dossier de DAC qui, avec les demandes et prescriptions des autorités, participeront à formaliser et à préciser davantage la phase industrielle pilote, notamment en vue du décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire[150] ;
- le déroulement effectif de la phase industrielle pilote elle-même, qui permettra des apprentissages, des évolutions et des approfondissements en matière de connaissances techniques et de pratique de la gouvernance.

Les concertations sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du centre de stockage seront menées en conformité avec les prescriptions du 5e PNGMDR (24, 25) , notamment celles relatives à la participation du public. L'action HA-MA-VL 6 de la 5ème édition du PNGMDR prévoit, par ailleurs, que l'Andra propose, avant le 31 décembre 2024, les objectifs et les critères de réussite de la phase industrielle pilote afin d'alimenter les éditions successives du PNGMDR (25).

---

146 Sur la procédure d'enquête publique : articles L. 123-1 et suivants, R.123-1 et suivants du code de l'environnement, article L.1, L.110-1 ; R.111-1 et R.112-1 à R.112-24 1 du code de l'expropriation pour cause d'utilité publique. Sur la mise en comptabilité des documents d'urbanisme : articles L.153-54 et suivants et 153-14, L. 143-44 et suivants et R. 143-10 du code de l'urbanisme.

147 https://www.registre-numerique.fr/dup-cigeo

148 https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference

149 https://www.registre-numerique.fr/dup-cigeo/deposer-son-observation

150 Les concertations menées durant l'instruction du dossier de DAC de l'installation nucléaire de base Cigéo seront poursuivies jusqu'à la phase d'enquête publique préalable à l'autorisation de création de l'INB Cigéo, prévue par l'article L593-8 du code de l'environnement.

Ces concertations seront également menées en articulation avec les différents dispositifs de participation du public mis en œuvre par les acteurs impliqués dans le processus d'instruction du dossier de demande d'autorisation de création (ASN, DGEC). d)..

Les concertations menées par l'Andra porteront sur les thématiques suivantes :

- la phase industrielle pilote et la gouvernance du centre de stockage Cigéo. Les concertations menées permettront de :
  - ✓ préciser les premières propositions relatives aux objectifs et aux critères de réussite de la phase industrielle pilote définies suite à la première séquence de concertation sur ces deux thématiques (2021-2022) (189), et présentées dans l'édition du PDE jointe à la présente demande de DAC (31). Ces propositions auront vocation à nourrir les définitions relatives aux objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote fixées par les éditions successives du PNGMDR (25) ;
  - ✓ préciser les éléments de connaissance issus du retour d'expérience de la phase industrielle pilote à présenter au Parlement pour éclairer sa décision relative aux conditions de poursuite du projet Cigéo à l'horizon 2040/50 ;
  - ✓ approfondir les modalités de fonctionnement et de mise en œuvre de la gouvernance du centre de stockage Cigéo pendant la phase industrielle pilote ;
- les modalités d'organisation des revues de réversibilité prévues dans le cadre de la phase industrielle pilote et organisées à l'initiative de l'Andra :
  - ✓ cette concertation visera à mieux définir le rôle, le produit de sortie et l'articulation des revues de réversibilité avec les décisions en matière de gestion des déchets ;
- la deuxième édition du PDE :
  - ✓ les éditions successives du PDE auront vocation à retranscrire les enseignements issus de ces différentes séquences de concertation afin de nourrir les propositions de l'Andra relatives à la gouvernance et aux perspectives de développement de l'INB Cigéo. La deuxième édition du PDE fera l'objet d'une consultation afin d'assurer que ces choix de développement seront le plus partagés.

Pendant la période d'instruction du dossier d'autorisation de l'INB Cigéo, l'enquête publique prévue par le code de l'environnement (article L. 593-8) permettra également de recueillir l'avis du public.

La feuille de la concertation durant l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) a fait l'objet d'une présentation lors de la réunion du groupe de suivi de la concertation du projet global Cigéo du HCTISN le 27 septembre 2022 (210, 211).

2.6.2.5.2 La poursuite de la concertation locale sur l'insertion environnementale et territoriale du centre de stockage Cigéo

Certains sujets (options de rejet des effluents liquides, installation terminale embranchée, liaison intersites, approvisionnement en énergie thermique et électrique) devaient être concertés avant le dépôt du dossier de déclaration d'utilité publique dans la mesure où certaines options issues de la concertation pouvaient affecter des emprises n'appartenant pas à l'Andra (emprises qui devaient être intégrées le cas échéant dans le dossier d'enquête publique préalable à la demande d'utilité publique).

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, notamment les rejets des effluents liquides, les rétablissements liés à l'installation terminale embranchée et les besoins énergétiques du centre de stockage Cigéo.

En outre, d'autres choix restent à faire ou à affiner sur certains aspects suite à la première phase de concertation post-débat public qui s'achève actuellement. En particulier, la concertation sur l'aménagement de l'espace et le cadre de vie lancée à la fin 2019 se poursuivra sur le long cours et portera notamment sur les thèmes de l'insertion paysagère, des étapes de chantier et du suivi environnemental et sanitaire. Elle permettra aussi d'approfondir certains sujets ouverts au travers de la concertation MECDU en lien avec des questions liées à l'urbanisme.

La thématique chantier est la première sous thématique ayant fait l'objet d'une réunion dédiée le mardi 27 octobre 2020 à Gondrecourt-le-Château. À l'issue de cette dernière, l'Andra s'est engagée à constituer un groupe de suivi de chantier, notamment pour s'interroger sur l'organisation du chantier, la gestion des nuisances ou encore échanger sur les attentes des riverains en matière d'information et de suivi du chantier(111).

Une campagne de porte à porte conduite par l'Andra au premier semestre 2019, auprès de 1 900 personnes réparties dans 56 communes, révèle que les attentes des riverains sur ces sujets sont fortes.

» LA POURSUITE DES ACTIONS D'INFORMATION ET DE DIALOGUE

Des enjeux techniques et transverses du centre de stockage Cigéo à traiter à la fois à l'échelle locale mais aussi nationale sont identifiés dans la feuille de route de la concertation, conformément aux recommandations émises par le HCTISN relatif à la participation du public au projet Cigéo du 28 septembre 2020 (212). Suite à cet avis, le HCTISN a mis en place un comité de suivi de la concertation sur le projet Cigéo (211), dont la première réunion s'est tenue le 10 mars 2021. Composé d'une vingtaine de partie prenantes, ce comité, auquel l'Andra participe, vise à suivre et articuler l'ensemble des dispositifs d'information et de participation du public relatifs au projet Cigéo[151].

Dans la droite ligne de l'avis de l'ASN (67) sur le dossier d'options de sûreté (DOS), l'Andra souhaite poursuivre le dialogue sur des questions à approfondir liées à la conception technique du centre de stockage : sûreté, surveillance et exploitation. D'autres sujets sociétaux et transverses pourront également être abordés : éthique, confiance, mémoire, santé et réversibilité.

Par ailleurs l'Andra organise régulièrement des « rendez-vous de partage » afin d'échanger sur l'avancement de la feuille de route de la concertation, partager le bilan des échanges et préparer et concrétiser les réunions à venir.

Les modalités d'information du public entre deux mises à jour du plan directeur d'exploitation (PDE), les jalons décisionnels du projet de centre de stockage Cigéo, ainsi que la gouvernance à mettre en œuvre afin de pouvoir réinterroger les choix effectués seront fixés par les éditions successives du PNGMDR (article 8 de la décision de la ministre de la transition écologique et solidaire et du Président de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les suites à donner au débat public PNGMDR (143).

Parmi les missions de l'Andra, définies par la loi, figure le fait 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* ». Afin que ce sujet ne reste pas réservé aux experts et publics avertis qui se sentent naturellement concernés, l'Andra met à disposition des informations fiables et sourcées à destination de différents publics, du grand public aux publics très experts. Cela passe par des formes traditionnelles de communication, de médiation scientifique et technique mais aussi par des formes plus originales afin de toucher de nouveaux publics : site internet et réseaux sociaux, newsletter, journal trimestriel pour les riverains, rapports d'activité annuels, brochures thématiques, supports vidéo, visites, expositions temporaires ou permanentes, journées portes ouvertes, webinaires, partenariats… Ainsi, tout un chacun peut disposer d'informations sur les déchets radioactifs et leur gestion à long terme.

Pour compléter son dispositif de communication et d'information, l'Andra déploie également des actions de communication à destination des riverains de ses installations pour leur présenter le projet de centre de stockage Cigéo. Ainsi, l'Andra dispose en Meuse/Haute-Marne, depuis 2009, d'un espace technologique est ouvert au public. Il comprend :

- une exposition permanente interactive sur les déchets radioactifs et le projet de centre de stockage Cigéo, ouverte chaque week-end ;
- une Halle, un espace de 3 000 m² avec des prototypes des conteneurs de déchets ainsi que des robots permettant de préparer la phase industrielle du centre de stockage Cigéo.

Sont aussi organisées localement, une fois par an, des journées portes-ouvertes durant lesquelles les salariés de l'Andra présentent le projet de centre de stockage Cigéo aux visiteurs, et le public peut s'inscrire à des opérations Galeries Ouvertes, quatre fois par an, pour visiter le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Le Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne accueille environ 10 000 visiteurs par an.

[151] En savoir plus : http://www.hctisn.fr/groupe-de-suivi-concertation-projet-cigeo-r67.html

2.6.3 La contribution de l'Andra au dispositif de santé publique

La construction du centre de stockage Cigéo va se dérouler sur plusieurs années et son exploitation durera plus d'un siècle (cf. Chapitre 1.1 du présent volume).

Bien que ce projet ne soit pas de nature à impacter la santé des populations, les acteurs locaux, en particulier le Comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont réfléchi à un renforcement du dispositif de santé publique du territoire autour du centre de stockage Cigéo.

Les axes de renforcement identifiés sont :

- le développement des infrastructures d'examen et de soins pour la population ;
- le suivi de l'état de santé des populations autour du centre de stockage Cigéo et notamment l'évaluation d'un état sanitaire de référence. Pour cet objectif, le Clis met en place et mène la démarche OSaRiB (Observatoire de la Santé des Riverains du projet du centre de stockage de Bure). Lancée officiellement le 30 septembre 2022 sa mission est de faire l'état initial de la santé de la population et de suivre son évolution dans le temps. Cette étude conduira à observer la santé de la population riveraine des futures installations de Cigéo et d'une population non riveraine constituée de la communauté de communes de Vitry, Champagne et Der dans la Marne et son évolution dans le temps. Elle permettra d'évaluer, à un instant T, l'état de santé physique et psychologique de la population puis, si le projet Cigéo est accepté, de renouveler cet état des lieux à intervalles réguliers afin d'identifier d'éventuelles évolutions sanitaires. Pour cette mission le Clis de Bure travaille en partenariat avec Santé publique France, l'ARS Grand Est et la Préfecture de la Meuse.

Par ailleurs, l'Andra collabore avec les équipes médicales de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale pour la mise au point de méthodologies de suivi médical de personnes dans le temps. Ces études, de type épidémiologique, permettraient une meilleure appréciation de la santé des riverains.

2.6.4 Les enseignements de la concertation relative au centre de stockage Cigéo

Le dialogue, l'information et la concertation, associés à des cycles de recherches, d'études et d'évaluations, ont accompagné dès l'origine le développement du projet de création du centre de stockage Cigéo.

Une enquête publique préalable à l'autorisation d'implanter et d'exploiter le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a été réalisée en 1998 et renouvelée en 2010 pour acter de la prolongation de sa durée d'exploitation. Dès 1999, un Comité local d'information et de suivi (Clis) a été mis en place avec pour mission l'information en continu de ses membres et des populations concernées sur les activités menées dans le Laboratoire, et le suivi des recherches et des résultats obtenus. En parallèle, au niveau du territoire, de nombreuses actions d'information et de dialogue sont menées.

En 2005-2006, sur la base, notamment, des résultats des études menées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, un débat public national sur les options générales de gestion des déchets radioactifs a alimenté le projet de loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, devenu la loi n° 2006-739.

L'Andra a ensuite intensifié ses actions d'information et de dialogue avec le territoire, au travers de l'accueil de visiteurs sur le site du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et de l'Espace technologique (ouvert au public en juin 2009), de campagnes d'information, d'expositions itinérantes.

En 2009, une concertation locale a été organisée en vue de la définition de l'implantation des zones de surface et de la zone souterraine du futur stockage (cf. Chapitre 2.4.1 du présent volume) : il ne ressort pas de cette concertation des choix de zones mais un ensemble de critères qui seront ensuite pris en compte par l'Andra pour proposer des implantations précises.

En 2013-2014, un débat public national sur le projet de centre de stockage Cigéo est organisé. Dans sa décision post-débat public (87), l'Andra a proposé quatre évolutions du projet pour tenir compte des enseignements du débat public :

- l'intégration d'une phase industrielle pilote au démarrage de l'installation ;
- la proposition puis la mise en place d'un plan directeur pour l'exploitation (PDE) du centre de stockage Cigéo ;
- l'aménagement du calendrier ;
- l'implication de la société civile au travers d'une concertation sur l'élaboration du PDE (plan directeur d'exploitation de Cigéo) et la création d'un « *comité pluraliste chargé de l'éclairer sur la prise en compte des enjeux sociétaux dans ses activités* » (futur Comité éthique et société).

L'Andra propose aussi des définitions pour la réversibilité et pour la récupérabilité, ainsi qu'une approche par étapes qui donne la possibilité de récupérer les colis de déchets pendant au moins 100 ans et qui laisse le choix aux générations suivantes d'une fermeture plus ou moins progressive du stockage. Au total, 1 508 questions, 497 avis, 154 cahiers d'acteurs, 24 contributions et 5 délibérations d'assemblées locales sont déposés pendant le débat public.

Une concertation post-débat public a ensuite été lancée en 2017, toujours sous l'égide de la CNDP et de garants désignés par celle-ci. Elle a rassemblé depuis 2018 plus de 1 800 participants au cours des 46 rencontres organisées. D'abord centrée sur l'insertion territoriale du projet (modalités de rejets des effluents liquides, caractéristiques de l'installation terminale embranchée et de la liaison intersites, alimentation énergétique), elle aborde depuis 2021 les thèmes de la gouvernance et de la phase industrielle pilote. Les propositions des participants font systématiquement l'objet de réponses de l'Andra et la conception du centre de stockage est ajustée : par exemple, les propositions de rétablissements pour la liaison intersites et l'installation terminale embranchée résultent directement des échanges avec les participants.

Un débat public consacré à la politique nationale de gestion des matières et de déchets radioactifs s'est tenu en 2018-2019. Des réunions ont été organisées partout en France et de nombreuses ressources documentaires ont été mises à disposition du public notamment en lien avec le devenir des déchets HA et MA-VL.

Un bilan complet de la participation du public figure à la « Pièce 14 - Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet de centre de stockage Cigéo » du dossier de demande de création de l'INB (167).

Synthèse - Un projet développé en dialogue avec la société

La mission d'information et de communication de l'Andra est inscrite dans la loi et fait partie intégrante de ses activités ; dans cette optique et concernant le projet de centre de stockage Cigéo, l'Andra dispose d'une large palette d'outils de communication et de dialogue à destination en particulier du grand public et des populations du territoire : sites web de l'Andra, magazine en ligne d'information et journal papier, visites et opérations portes ouvertes, brochures, rapports, données de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs… Un Comité local d'information et de suivi (Clis) a été créé pour le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

En complément des lois, des débat publics et des échanges réguliers avec le Clis, des concertations organisées par l'Andra et les autres maîtres d'ouvrage du projet global Cigéo permettent de prendre en compte les attentes du territoire et de préparer l'intégration du projet. L'Andra a été associée aux travaux conduits afin d'établir un projet de développement du territoire (PDT) dont l'objet est de préparer l'arrivée du centre de stockage Cigéo tout en contribuant au développement territorial. Les échanges permettent de coordonner les actions d'un grand nombre d'acteurs locaux et accompagner le développement économique en tenant compte des équilibres locaux.

La démarche de dialogue et de concertation engagée par l'Andra sur le projet de centre de stockage Cigéo est une démarche volontaire. Suite au débat public de 2013, l'Andra a renforcé progressivement sa démarche de dialogue et d'information, sous le regard de garants nommés par la CNDP, et a entrepris des premières initiatives de concertation sur des sujets ayant trait aux impacts environnementaux et territoriaux du projet, mais aussi à ses enjeux de développement et déploiement. L'Andra a créé en 2015 un Comité éthique et société (CES) qui a notamment pour mission de faire progresser et d'évaluer l'Andra en matière de prise en compte des enjeux éthiques et environnementaux.

Bien que ce projet ne soit pas de nature à impacter la santé des populations, les acteurs locaux, en particulier le Clis du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont réfléchi à un renforcement du dispositif de santé publique du territoire autour du centre de stockage Cigéo. Les axes de renforcement identifiés sont :

- le développement des infrastructures d'examen et de soins pour la population ;
- le suivi de l'état de santé des populations autour du centre de stockage Cigéo et notamment l'évaluation d'un état sanitaire de référence.

Par ailleurs, 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 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 plus largement dans les pratiques de l'ensemble des acteurs locaux ou nationaux concernés par le projet global Cigéo.

2.7 Pourquoi engager la réalisation du centre de stockage Cigéo maintenant ?

2.7.1 Le stockage géologique est le seul mode de gestion à maturité pour la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs les plus dangereux (déchets HA et MA-VL)

Les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) sont très dangereux pour l'Homme et l'environnement. 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 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 risques mortels.

Même si la radioactivité des déchets HA et MA-VL décroit, les échelles de temps associées à la dangerosité des déchets HA et MA-VL sont très longues. En ordre de grandeur, ce n'est qu'au bout de plusieurs centaines de milliers d'années que la radioactivité des déchets MA-VL approchera la radioactivité initiale des déchets de faible activité qui peuvent être stockés en surface ou à faible profondeur.

Il existe actuellement environ 3 900 m³ de déchets HA et environ 42 000 m³ de déchets MA-VL français entreposés en attente d'une filière durable de gestion. Si l'on considère les volumes qui seront encore générés par les installations nucléaires existantes, cela représente environ 40 % des déchets HA et 60 % des déchets MA-VL totaux prévisibles.

La dangerosité de ces déchets HA et MA-VL nécessite de mettre en place, à toutes les étapes de leur gestion, des dispositifs appropriés de sécurité et de protection de la santé de l'homme et de l'environnement. De tels dispositifs sont mis en œuvre actuellement dans les installations d'entreposage des déchets HA et MA-VL. Ces entreposages sont utilisés pour conserver à titre temporaire les déchets déjà produits. Toutefois, ils ne présentent pas un caractère pérenne et doivent, pour des raisons de sûreté, être renouvelés périodiquement.

Selon le code de l'environnement, la gestion durable des déchets a pour objectif leur mise en sécurité définitive pour prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations suivantes. En effet, ce sont les générations actuelles qui ont exercé les activités nucléaires et qui en ont bénéficié. Il est donc de leur responsabilité de déployer les options techniques permettant d'assurer la gestion durable et sûre des déchets HA et MA-VL produits, sans en reporter indéfiniment la charge, de générations en générations.

D'autres solutions techniques ont été imaginées et étudiées pour la gestion des déchets HA et MA-VL. À l'exception du stockage géologique, aucun des modes de gestion alternatifs envisagés actuellement n'est susceptible d'apporter une mise en sécurité durable pour l'ensemble des déchets HA et MA-VL existants et pour ceux qui restent à produire. Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN rappelle que « *les perspectives de transmutation à une échelle industrielle des déchets déjà conditionnés de l'inventaire de référence de Cigéo ne sont pas crédibles* ». Dans ses avis du 1er février 2006 (160) et du 1er décembre 2020 (16), l'ASN estime « *qu'il ne serait pas raisonnable de retenir comme solution de référence la solution consistant à renouveler plusieurs fois un entreposage de longue durée, car elle suppose le maintien d'un contrôle de la part de la société et la reprise des déchets par les générations futures, ce qui semble difficile à garantir sur des périodes de plusieurs centaines d'années* ». Toutes les solutions alternatives demanderaient encore des recherches et des investissements très importants dans l'espoir, non garanti, de lever des verrous technologiques aujourd'hui rédhibitoires à leur utilisation pour la gestion durable des déchets (cf. Chapitres 2.2.2 à 2.2.7 du présent volume). Elles sont par ailleurs nécessairement associées à une forme de stockage géologique pour la gestion des déchets déjà produits qu'elles ne peuvent pas gérer (transmutation et stockage en forages très profonds) et des nouveaux déchets qu'elles ne manqueraient pas de produire (transmutation et entreposage de longue durée en fonction de la filière suivante retenue). Dans son avis du 1er décembre 2020 (16), l'ASN estime que, « *si des études sur la transmutation devaient être poursuivies, il conviendrait* […] *qu'elles soient menées dans l'optique du développement de filières complètes, intégrant le stockage des déchets issus de la transmutation et présentant un haut niveau de sûreté* ».

Le centre de stockage Cigéo est, à ce jour, la seule option de mise en sécurité définitive dont la faisabilité a été démontrée et qui dispose d'un site d'implantation, d'un mode de financement et d'études menées jusqu'au stade de l'avant-projet. La commission nationale d'évaluation des recherches et des études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs réaffirme en juin 2022 dans son rapport n° 16 (213) que : « *l'Andra a acquis les connaissances suffisantes pour permettre le lancement du projet Cigéo. Elle estime notamment que les qualités du site de Meuse/Haute-Marne ont été démontrées et que les options techniques envisagées à ce stade sont robustes*. ».

De plus, le centre de stockage Cigéo est un mode de gestion qui est conçu pour prendre en charge l'ensemble des déchets HA et MA-VL, quelles que soient leurs natures, sous réserve qu'ils respectent les spécifications d'acceptation.

Le centre de stockage Cigéo est donc la seule solution accessible pour engager une gestion durable des déchets produits par les installations actuelles et pour permettre aux générations qui ont bénéficié des avantages des industries nucléaires d'assumer leurs responsabilités vis-à-vis des générations futures. Elle permet de stocker l'ensemble des déchets radioactifs français sur un peu plus d'un siècle.

Toutes les autres pistes de gestion (forages, transmutation, lasers…) nécessiteraient des temps de mise en œuvre de filières industrielles beaucoup plus longs et des investissements encore inconnus, pour des résultats incertains.

2.7.2 Le projet de centre de stockage Cigéo permet d'avancer prudemment et d'offrir aux générations suivantes un mode de gestion durable des déchets HA et MA-VL

En 2000, la construction du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a été engagée par l'Andra. La couche argileuse du Callovo-Oxfordien, identifiée pour étudier la faisabilité d'une installation de stockage des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), a été atteinte en 2004. Les travaux scientifiques et techniques menés dans ce Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et dans des laboratoires de surface, ainsi que les études de conception au stade d'avant-projet, confirment la faisabilité et la sûreté d'un centre de stockage dans cette roche.

Des expériences complémentaires, menées ou préparées actuellement au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, ont pour objectif de tester des dispositifs pour le centre de stockage Cigéo dans des conditions aussi proches que possible de la réalité industrielle (alvéole de stockage, remblais, scellements…). Néanmoins, ces essais sont contraints par les dimensions et les conditions opérationnelles du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Celui-ci aura bientôt atteint des limites en termes de dimensions des ouvrages et équipements testés et de représentativité des conditions de stockage. De plus, il n'est pas conçu pour mener des essais avec des colis de déchets radioactifs.

Une alternative, pour progresser au-delà de ce que permettent les capacités techniques du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, consisterait en la création d'un nouveau laboratoire ou d'une installation pilote dont on interdirait qu'elle puisse ensuite être transformée en centre de stockage. Pour y réaliser des essais complètement représentatifs, cette installation devrait néanmoins posséder des équipements techniques comparables, en taille et en conception, à ceux prévus pour le centre de stockage Cigéo (en surface et en souterrain). Elle devrait pouvoir faire des essais avec des colis de déchets radioactifs pour éprouver les procédés en situation réelle (mise en hotte, funiculaire, alvéoles de vraies dimensions). Une telle installation représenterait un investissement financier important qui serait à renouveler si ses résultats confirmaient la pertinence du stockage. De plus, cette alternative pose une question de localisation. Si, pour être représentatif, ce nouveau laboratoire était implanté à l'intérieur de la zone prévue pour le stockage, il en gèlerait une partie pour la réalisation ultérieure du centre de stockage Cigéo. Dans le cas d'une implantation plus éloignée, elle devrait faire l'objet d'un nouveau travail avec le territoire pour son identification au sein de la zone de transposition du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et sa représentativité serait toujours questionnable.

L'intégration de la phase industrielle pilote (Phipil) dans le projet de centre de stockage Cigéo propose une meilleure utilisation des ressources et parvient à satisfaire les mêmes objectifs. En effet, la première étape de développement du centre de stockage Cigéo correspond à une phase d'acquisition de connaissance, de test de l'ensemble des procédés et équipements et de démarrage progressif du fonctionnement. Cette phase industrielle pilote (PHIPIL) permettra de *« conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation »,* comme le prévoit la loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 (37) précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde.

Comme précisé au chapitre 4.2 du présent volume, la Phipil permettra ainsi, progressivement, en menant des essais à taille et en environnement réels, y compris avec des colis de déchets radioactifs, de confirmer les données et les connaissances utilisées pour la conception du stockage et pour sa démonstration de sûreté. La Phipil sera aussi l'occasion de tester et de parfaire, avec l'ensemble des parties prenantes et le public, le schéma de gouvernance du centre de stockage Cigéo qui sera mis en place après concertation avec les parties prenantes et le public (cf. Chapitre 2.6.2.3.2 du présent volume).

Pour décider des conditions de poursuite éventuelle du stockage, le Parlement disposera d'un retour d'expérience important incluant l'ensemble des aspects de la technique et de la gouvernance du centre de stockage Cigéo.

La loi du 25 juillet 2016 (37) dispose que tous les colis de déchets doivent rester aisément récupérables durant la phase industrielle pilote. Ainsi, si les premières années de fonctionnement pour le stockage des colis venaient à mettre en cause les principes et le fonctionnement prévu du stockage, les colis déjà stockés seront simplement retirés du stockage et réexpédiés vers les sites des producteurs.

La phase industrielle pilote constitue une mise en pratique concrète du principe de réversibilité du stockage défini par le code de l'environnement comme *« 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* » (article L. 542-10-1).

2.7.3 Le risque de la perte de compétence

Compte tenu des déchets HA et MA-VL déjà produits, la question de leur gestion durable est indépendante du fait que leur production perdure ou cesse à l'avenir. Elle n'est pas liée aux décisions concernant l'avenir des programmes militaires ou de la filière électronucléaire. La mise en œuvre d'un mode de gestion durable est d'ores et déjà nécessaire.

Poursuivre la progression de la voie du stockage en couche géologique profonde permet de bénéficier des acquis, savoir-faire et compétences actuels sur ce sujet et plus généralement de mobiliser les ressources disponibles de l'industrie nucléaire en termes de moyens techniques et humains, développés et encadrés par des politiques nationales sur plusieurs décennies.

À contrario, repousser la création du centre de stockage Cigéo, ou y renoncer, engendrerait des risques de perte de savoir-faire et de manques de ressources et de compétences le jour où un nouveau programme de gestion durable des déchets devra être relancé.

L'industrie nucléaire représente une option parmi d'autres dans le « mix » énergétique français. Dans l'hypothèse où la filière nucléaire aurait moins ou n'aurait plus d'avenir, il est risqué de considérer que la société soit capable de maintenir durablement les ressources et les compétences très spécialisées nécessaires au développement d'un programme global de gestion de ces déchets. Dans une hypothèse d'abandon du nucléaire, il est peu vraisemblable que des recherches nucléaires soient poursuivies durablement et que des investissements massifs soient réalisés dans l'unique objectif de gérer des déchets légués par des générations précédentes. Des besoins d'investissements sur d'autres enjeux apparaissent progressivement (le climat, les ressources en eau…) qui constitueront certainement les enjeux de recherches de demain et concentreront les besoins en ressources. Le risque que des aléas de toute nature frappent et fragilisent nos sociétés augmente pendant une longue période d'attente ou de report de l'engagement d'une voie de gestion durable. Inversement, les moyens et les compétences disponibles actuellement constituent un contexte favorable pour avancer.

La prudence invite donc à ne pas parier uniquement sur les développements futurs de la recherche, de l'industrie ou des sciences nucléaires pour fournir, dans un avenir nécessairement lointain, les compétences et les ressources pour leur reprise et leur hypothétique élimination complète par des techniques encore non maîtrisées scientifiquement et industriellement ou par une filière non encore imaginée à ce jour.

Par ailleurs, la surveillance et le renouvellement des entreposages d'attente nécessaires à la conservation des déchets radioactifs, dans l'intervalle, requièrent également le maintien de moyens et de compétences spécialisés.

Corollairement, il ne serait pas prudent de donner un coup d'arrêt au développement du stockage, mode de gestion dont la faisabilité et la capacité de mise en œuvre sont les plus avancées.

2.7.4 La construction et l'exploitation du centre de stockage Cigéo ne s'opposent pas aux autres voies complémentaires de gestion

Aujourd'hui, les déchets HA et MA-VL sont principalement entreposés sur le site Orano de La Hague et sur les centres CEA de Marcoule et Cadarache. La mise en service de l'installation d'entreposage ICEDA sur le site EDF de Bugey a été autorisée par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) le 28 juillet 2020 (décision ASN 2020-DC-0691). Cette étape d'entreposage est nécessaire en attente de la disponibilité du stockage (cf. Chapitre 2.5.3.7 du présent volume).

Pour autant, la création du centre de stockage Cigéo, si elle est autorisée, ne supprime pas le besoin d'entreposages pendant toute la durée séculaire de son fonctionnement. En effet, les entreposages permettent de préparer, d'organiser et de réguler les flux d'expédition des colis depuis les installations des producteurs vers le centre de stockage Cigéo. Les colis ne sont expédiés que lorsqu'il a été montré qu'ils respectent les spécifications d'acceptation du centre de stockage Cigéo et lorsque l'Andra dispose de la capacité à les stocker[153].

Pour les déchets MA-VL, le transfert depuis les entreposages vers l'installation de stockage permettra, dès la première moitié du siècle de réduire les charges de gestion en surface. Si les déchets MA-VL recèlent une part relativement faible de la radioactivité totale des déchets les plus dangereux, ils en représentent le plus grand volume (le volume des déchets MA-VL est environ sept fois celui des déchets HA).

Pour les déchets HA, la chaleur dégagée par la plupart d'entre eux impose un décalage de leur stockage dans le temps. Ils doivent encore majoritairement rester entreposés pendant plusieurs décennies, jusqu'à ce leur dégagement thermique résiduel soit compatible avec leur stockage. La phase industrielle pilote permettra de stocker de premiers déchets HA0 (ceux qui dégagent le moins de chaleur) pour vérifier *in situ*, à l'échelle réelle, leur comportement en stockage et les évolutions liées à l'échauffement transitoire de la roche et des alvéoles. Ces données contribueront à conforter la démonstration de la sûreté du stockage des déchets HA quand ils auront suffisamment refroidi pour pouvoir être stockés, c'est-à-dire à l'horizon 2080. Ce n'est qu'à cet horizon que leur transfert depuis les entreposages vers l'installation de stockage permettra de réduire les charges de leur gestion en surface.

Les entreposages de déchets vont donc perdurer encore au moins un siècle et la décision d'engager ou non le projet global Cigéo ne se pose donc pas en termes de choix immédiat entre le stockage ou la recherche d'autres voies de gestion. Tous les modes de gestion envisagés pour les déchets HA et MA-VL, y compris le centre de stockage Cigéo, impliquent des périodes de fonctionnement inhabituellement longues, supérieures au siècle. Pendant de telles durées, de nouvelles connaissances et données viendront nécessairement enrichir la palette des solutions techniques disponibles. Si des techniques nouvelles présentant un avantage décisif par rapport au stockage viennent à apparaître, elles seront naturellement utilisées pour la gestion des déchets radioactifs les plus dangereux. La récupérabilité offre aux générations futures la possibilité de changer de voie de gestion pour tout ou partie des colis stockés, si une voie plus avantageuse, y compris en termes de sûreté à long terme, venait à être découverte.

[153] Le terme de « capacité » désigne ici le volume de stockage (la place) disponible dans les alvéoles de stockage pour les colis expédiés.

2.7.5 Le projet de centre de stockage Cigéo ne préempte pas les décisions des générations futures

Les installations du centre de stockage Cigéo se développent et stockent des colis de déchets de manière progressive, par étapes successives, sur une durée d'environ 120 ans. Cette progressivité laissera toute sa place à la prise en compte d'études et de recherches sur d'autres voies, tout comme aux progrès technologiques susceptibles de s'appliquer, y compris aux installations du centre de stockage Cigéo.

Compte tenu de la durée d'ordre séculaire prévue pour le fonctionnement du centre de stockage Cigéo, environ cinq générations successives devraient l'exploiter. Il est de la responsabilité de notre génération, qui bénéficie de l'électricité d'origine nucléaire, de concevoir et de léguer aux générations suivantes une installation sûre et qu'elles seront en mesure de modifier et d'améliorer en fonction de leurs propres objectifs et contraintes, voire de la remplacer par d'autres installations de gestion des déchets, si d'autres choix venaient à apparaître, notamment en lien avec les progrès techniques. Notre génération a donc le devoir de ne pas enfermer les générations futures dans des choix faits au lancement du projet. C'est dans ce sens que l'Andra développe un projet de stockage réversible.

La réversibilité du stockage est définie à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement. Celui-ci 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 du stockage permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets (suite notamment à une évolution de la politique énergétique). Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage. »

Longtemps associée uniquement aux aspects techniques permettant sa mise en œuvre pratique dans le stockage, la réversibilité est désormais mieux comprise comme une façon d'aborder les décisions qui jalonnent le stockage et la gestion des déchets qui lui sont destinés.

Les résultats de la phase industrielle pilote feront l'objet d'un rapport de l'Andra. L'instruction de ce rapport fera l'objet d'un processus décisionnel aboutissant à une loi et à la poursuite éventuelle du projet.

Si le Parlement décide de poursuivre le stockage géologique des déchets dans le centre de stockage Cigéo, ses infrastructures pourront être progressivement étendues pour accueillir de nouveaux colis de déchets tout en bénéficiant des améliorations issues du retour d'expérience de l'exploitation et du développement technologique prévisible.

Les extensions successives seront mises à profit pour adapter le centre de stockage Cigéo aux décisions de la politique nationale en matière de gestion des déchets. Chacune fera donc l'objet d'une autorisation particulière. Ainsi, la vie du projet global Cigéo sera jalonnée de décisions techniques et stratégiques permettant de réinterroger le bien-fondé des décisions précédentes et éventuellement de les faire évoluer dans le respect du principe de réversibilité. Parmi les grandes décisions jalonnant le projet après la Phipil, on peut citer les décisions d'étendre l'installation souterraine par tranches pour y poursuivre le stockage des déchets MA-VL, la préparation puis la décision d'y stocker des colis HA, l'adaptation du centre de stockage Cigéo à des décisions de politique énergétique nationale (par exemple le stockage de combustibles usés), l'obturation de parties du stockage et sa fermeture définitive. De plus, des rendez-vous périodiques pour des revues de réversibilité, des réexamens de sûreté du centre de stockage et des révisions de son plan directeur pour l'exploitation (PDE), prévus par la réglementation, seront des opportunités périodiques complémentaires d'analyse collective du fonctionnement du centre de stockage Cigéo et d'orientation du projet dans le cadre de la gouvernance.

Avec son démarrage par une phase pilote et le jalonnement de son développement par grandes étapes, le projet global Cigéo s'inscrit dans la continuité du processus par étapes engagé en 1991 sur la gestion à long terme des déchets, dans lequel chaque étape donne lieu à des évaluations indépendantes avant de décider de passer à l'étape suivante, sous le contrôle du Parlement. L'entreposage actuel des déchets MA-VL et HA dans des installations sûres évite de contraindre et de mettre sous pression le processus décisionnel progressif.

Ainsi, l'engagement du projet de centre de stockage Cigéo ne constitue donc pas un « blanc-seing » pour le choix de ce mode de gestion. De nombreux rendez-vous de gouvernance jalonneront le projet au fil desquels il pourra être accéléré, temporisé, réorienté, voire arrêté.

La gestion à long terme des déchets MA-VL et HA a pour objectif de réduire la charge des déchets et les risques transmis aux générations futures. Mettre en œuvre aujourd'hui le projet global Cigéo permet d'assurer cette responsabilité intergénérationnelle en avançant prudemment vers une option de gestion des déchets durable et accessible dès aujourd'hui. La temporalité de la mise en œuvre de ce projet, sur plus d'un siècle, et sa réversibilité, voulue par la loi, laissent ouverts les droits et le libre-arbitre des générations successives.

Synthèse - Pourquoi engager la réalisation du centre de stockage Cigéo maintenant ?

La dangerosité des déchets HA et MA-VL nécessite de mettre en place des dispositifs appropriés de sécurité et de protection de la santé de l'homme et de l'environnement. Les dispositifs mis en œuvre actuellement dans les installations d'entreposage ne présentent pas un caractère pérenne. Le stockage géologique est actuellement le seul mode de gestion susceptible d'apporter une mise en sécurité durable et sur le très long terme pour l'ensemble des déchets HA et MA-VL existants et pour ceux restant à produire.

Le centre de stockage Cigéo est, à ce jour, la seule option de mise en sécurité définitive dont la faisabilité a été démontrée et qui dispose d'un site d'implantation, d'un mode de financement et d'études menées jusqu'au stade de l'avant-projet.

En 2000, la construction du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a été engagée par l'Andra. Les travaux scientifiques et technologiques menés notamment dans ce Laboratoire souterrain ainsi que les études de conception au stade d'avant-projet, confirment la faisabilité et la sûreté d'un centre de stockage dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien. Des expériences complémentaires, menées ou préparées actuellement au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont pour objectif de tester des dispositifs pour le centre de stockage Cigéo dans des conditions aussi proches que possible de la réalité industrielle. Dans ce but, la phase industrielle pilote (Phipil) a été intégrée au projet de centre de stockage Cigéo et permettra, progressivement, de *« conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation »* en menant des essais à taille et en environnement réels, y compris avec des colis de déchets radioactifs.

Compte tenu des déchets HA et MA-VL déjà produits, la question de leur gestion durable est indépendante du fait que leur production perdure ou cesse à l'avenir. Poursuivre la progression de la voie du stockage géologique permet de bénéficier des acquis, savoir-faire et compétences actuels, des connaissances sur les déchets et plus généralement de mobiliser les ressources disponibles de l'industrie. *A contrario,* repousser la création du centre de stockage Cigéo ou y renoncer engendrerait des risques de perte de savoir-faire et de manques de ressources et de compétences le jour où le programme de gestion durable des déchets devra être relancé.

La récupérabilité des déchets offre aux générations futures la possibilité de changer de voie de gestion pour tout ou partie des colis stockés, si une voie plus avantageuse venait à être découverte. La temporalité de la mise en œuvre de ce projet, sur plus d'un siècle, et sa réversibilité laissent ouverts les droits et le libre-arbitre des générations successives.

3

La description des installations du projet global Cigéo en fonctionnement

3.1 Les opérations constituant le projet global Cigéo 152

3.2 Le centre de stockage Cigéo sous maitrise d'ouvrage Andra 153

3.3 Les autres opérations du projet global Cigéo, nécessaires à la réalisation et à l'exploitation du centre de stockage, menées par l'Andra et par d'autres maîtres d'ouvrage 226

3.1 Les opérations constituant le projet global Cigéo

Pour mémoire, le projet global Cigéo, objet de la présente étude d'impact, comprend le centre de stockage Cigéo, sous maitrise d'ouvrage Andra, et l'ensemble des opérations nécessaires à sa réalisation et à son exploitation, menées par l'Andra et par d'autres maîtres d'ouvrage. Il comporte :

- les installations et ouvrages du centre de stockage Cigéo implantées en zone descenderie (ZD), en zone puits (ZP), en zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS), sur la liaison intersites (LIS), sur l'installation terminale embranchée (ITE) ;
- les installations, aménagements, constructions d'ouvrages et activités relatifs aux opérations suivantes :
  - ✓ alimentation électrique sous la maîtrise d'ouvrage de RTE ;
  - ✓ mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 sous la maîtrise d'ouvrage de SNCF Réseau ;
  - ✓ adduction d'eau sous la maîtrise d'ouvrage du SIVU du Haut Ornain et du SIAEP d'Échenay ;
  - ✓ déviation de la route départementale D60/960 sous la maîtrise d'ouvrage du Conseil départemental de la Haute-Marne;
  - ✓ expédition et le transport des colis de déchets radioactifs sous la maîtrise d'ouvrage des producteurs (CEA, EDF et Orano) ;
  - ✓ activités de caractérisation et de surveillance environnementale sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra.

Sont ainsi présentées dans le présent chapitre :

- les opérations relatives au centre de stockage, dont l'installation nucléaire de base (cf. Chapitre 3.2 du présent volume et suivantes). Au début des chapitres les concernant, ces opérations seront repérées à l'aide des tableaux suivants :

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone descenderie (ZD) et zone puits (ZP), liaison intersites (LIS) et installation terminale embranchée (ITE) En souterrain, zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

- les autres opérations nécessaires à la réalisation et à l'exploitation de ce dernier (cf. Chapitre 3.3 du présent volume en pages suivantes). Au début des chapitres les concernant, ces opérations seront repérées à l'aide des tableaux suivants :

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
RTE	Alimentation électrique

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
SIAEP d'Echenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
CD52	Déviation de la route départementale D60/960

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
CEA/Orano/EDF	Expédition et transport de colis

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Caractérisation et surveillance environnementale

Les installations du projet global Cigéo présentées aux chapitres 3.2 et 3.3 du présent volume sont les installations qui sont exploitées ou mises en œuvre en phase opérationnelle du projet alors que les principaux travaux réalisés pour créer ou mettre à niveau ces installations, ainsi que leurs modalités d'exécution, sont présentés dans le chapitre 5 du présent volume. Les phases opérationnelles et de travaux sont décrites au chapitre 4 du présent volume (phases temporelles successives de déploiement du projet global Cigéo). Par ailleurs, l'estimation des consommations de ressources, ainsi que des émissions et résidus attendus en phase opérationnelle et en phase travaux est présentée dans le chapitre 6 du présent volume.

3.2 Le centre de stockage Cigéo sous maitrise d'ouvrage Andra

3.2.1 La présentation générale

Le centre de stockage Cigéo est situé dans la région Grand Est, à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Les installations du centre de stockage Cigéo sont implantées sur les communes de Bonnet, Bure, Cirfontaines-en-Ornois, Gillaumé, Gondrecourt-le-Château, Houdelaincourt, Horville-en-Ornois, Mandres-en-Barrois, Ribeaucourt, Saint-Joire et Saudron. Des cartes de localisation sont jointes dans le Volume I de la présente étude d'impact.

3.2.1.1 L'organisation générale du centre de stockage Cigéo

L'organisation générale du centre de stockage Cigéo est illustrée sur la figure 3-1.

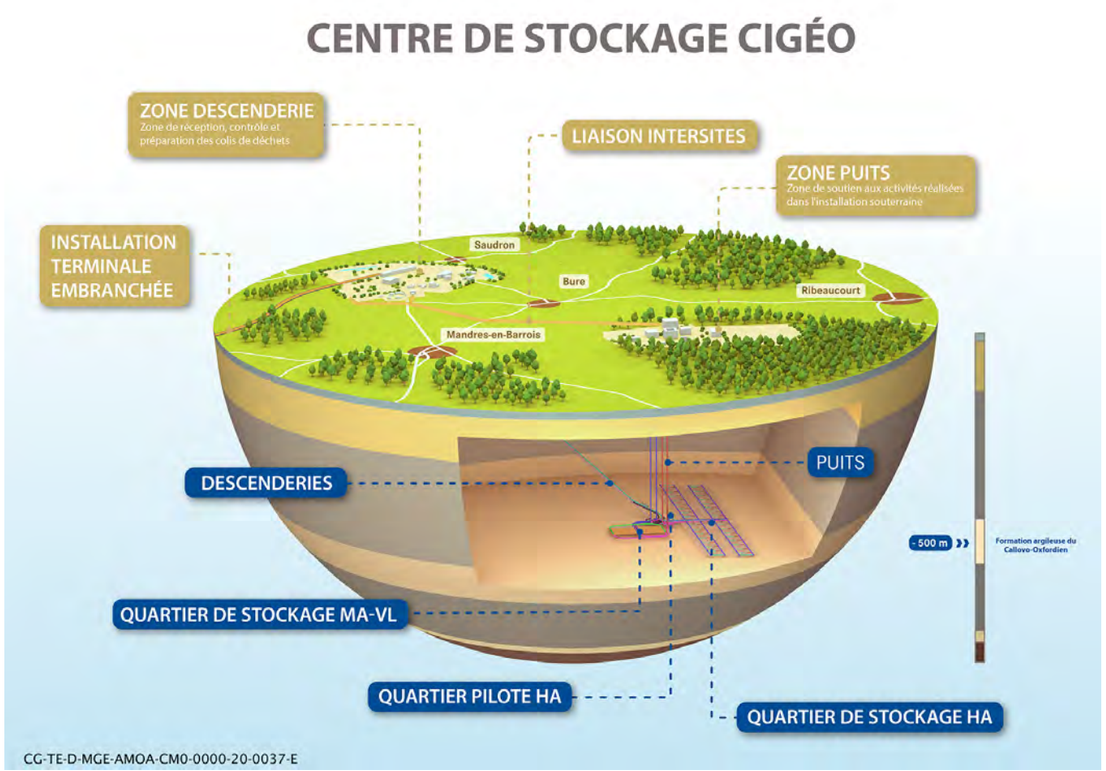


Figure 3-1 Illustration de l'organisation des installations du centre de stockage Cigéo

Le centre de stockage Cigéo comprend des installations en surface et en souterrain :

- une zone descenderie (ZD), en surface, principalement dédiée à la réception des colis de déchets radioactifs expédiés par les producteurs, à leur contrôle et à leur préparation avant transfert dans l'installation souterraine pour leur stockage ;
- une zone puits (ZP), en surface, dédiée aux installations de soutien aux activités réalisées dans l'installation souterraine et en particulier aux travaux de creusement des ouvrages souterrains ;
- une zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) comprenant des quartiers de stockage des colis de déchets radioactifs, des zones de soutien logistique (ZSL) et leurs accès depuis la surface ;
- une liaison intersites (LIS), en surface, reliant la zone puits à la zone descenderie, comprenant un convoyeur, une voie privée dédiée à la circulation des poids lourds et une voie pour la circulation des véhicules légers ;
- une installation terminale embranchée (ITE), en surface, voie ferrée reliant la zone descenderie au Réseau ferré national (RFN) à Gondrecourt-le-Château et incluant une plateforme logistique dans cette commune.

3.2.1.2 Les activités, installations, ouvrages, travaux sur le centre de stockage Cigéo

Les installations et ouvrages situés sur le centre de stockage relevant de la nomenclature ICPE/IOTA et identifiés dans le présent dossier de demande d'autorisation de création sont indiqués dans les tableaux suivants.

Pour chaque installation et ouvrage présentés, sont indiquées les quantités projetées compte tenu de l'avancement des études de conception actuellement disponibles ainsi que le classement associé.

Tableau 3-1 Tableau récapitulatif des ICPE dans l'INB

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
1185	1185 - Gaz à effet de serre fluorés visés à l'annexe I du règlement (UE) n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n° 842/2006 (214) ou substances qui appauvrissent la couche d'ozone visées par le règlement (CE) n° 1005/2009 (215) (fabrication, emploi, stockage). 2. Emploi dans des équipements clos en exploitation.	Fluide frigorigène	Ouvrages souterrains	Fluide vert type HFO >300 kg	Déclaration avec contrôle
1435	1435 - Stations-service : installations, ouvertes ou non au public, où les carburants sont transférés de réservoirs de stockage fixes dans les réservoirs à carburant de véhicules.	Aire carburant	G-14 Zone puits	260 m³/an	Déclaration avec contrôle
		Poste de distribution gazole en local technique de la ZSLT	ZSLT	2 000 m³/an	
1510	1510 - Entrepôts couverts (installations, pourvues d'une toiture, dédiées au stockage de matières ou produits combustibles en quantité supérieure à 500 tonnes), à l'exception	Ateliers de maintenance	E-11 Zone puits	<500 t de combustibles Maxi 800 m³	Déclaration avec contrôle
		Ateliers de maintenance	G-13 Zone puits	<500 t de combustibles Maxi 800 m³	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
	des entrepôts utilisés pour le stockage de matières, produits ou substances classés, par ailleurs, dans une unique rubrique de la présente nomenclature, des bâtiments destinés exclusivement au remisage des véhicules à moteur et de leur remorque, des établissements recevant du public et des entrepôts exclusivement frigorifiques.	Atelier de maintenance	E-13 Zone descenderie	<500 t de combustibles 10 750 m³	
1630	1630 - Soude ou potasse caustique (emploi ou stockage de lessives de), le liquide renfermant plus de 20 % en poids d'hydroxyde de sodium ou de potassium.	Soude (employée comme piège à C14 dans les barboteurs) : Laboratoire d'analyse Local technique dégazage Locaux CFI contrôle rejet/Bâtiment nucléaire de surface EP1	B-02 Zone descenderie	0,046 t	Non soumis
		Station d'épuration de traitement des eaux usées	E-10 Zone descenderie	50 kg	
		Station d'épuration de traitement des eaux usées	E-09 Zone puits	25 kg	
1978	1978 - Solvants organiques (directive IED) Solvants organiques (installations et activités mentionnées à l'annexe VII de la directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et	Ateliers de maintenance	E-11 Zone puits	10 kg/an	Non soumis
		Ateliers de maintenance	G-13 Zone puits	10 kg/an	
		Ateliers de maintenance	E-13 Zone descenderie	10 kg/an	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
	réduction intégrées de la pollution) (216). 4. Nettoyage de surface à l'aide de composés organiques volatils à mentions de danger H340, H350, H350i, H360D ou H360F, ou de composés organiques volatils halogénés à mentions de danger H341 ou H351, au sens du règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006 5. Autres nettoyages de surface	Hangar de maintenance locotracteur	F-02 Zone descenderie	10 kg/an	
2120	2120 - Chiens (établissements d'élevage, vente, transit, garde, détention, refuge, fourrière, etc.) à l'exclusion des établissements de soins et de toilettage et des rassemblements occasionnels tels que foires, expositions et démonstrations canines.	Chenil	NA Zone descenderie	<10 chiens	Non soumis
2515	2515 – 1. Installations de broyage, concassage, criblage, ensachage, pulvérisation, lavage, nettoyage, tamisage, mélange de pierres, cailloux,	Concasseur de voussoirs	ITC Zone puits	400 kW	Enregistrement
		Concasseur en quartier de stockage MA-VL	ITC Ouvrages souterrains	40 kW < P < 200 kW	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
	minerais et autres produits minéraux naturels ou artificiels ou de déchets non dangereux inertes, en vue de la production de matériaux destinés à une utilisation, à l'exclusion de celles classées au titre d'une autre rubrique ou de la sous-rubrique 2515-2.	Concasseur en quartier pilote HA puis en quartier de stockage HA	ITC Ouvrages souterrains	40 kW < P < 200 kW	
2517	2517 - Station de transit, regroupement ou tri de produits minéraux ou de déchets non dangereux inertes autres que ceux visés par d'autres rubriques	Déchets non dangereux inertes issus des chantiers (surfaces/souterrains/bâtiment de gestion de l'argilite excavée).	G-04 Zone puits	7 577 m²	Déclaration
2518	2518 - Installations de production de béton prêt à l'emploi équipée d'un dispositif d'alimentation en liants hydrauliques mécanisé, à l'exclusion des installations visées par la rubrique 2522.	Malaxeur pour la production de béton	G-16 Zone puits	4 m³	Enregistrement
		Malaxeur pour la production de béton	G-16 Zone puits	4 m³	
2522	2522. Installation de fabrication de produits en béton par procédé mécanique (Non cumulatif avec la 2518)	Malaxeur pour la production de béton zone puits	G-16 Zone puits	<400 kW	Déclaration
2560	2560 - Travail mécanique des métaux et alliages, à l'exclusion des activités classées au titre des rubriques 3230-a ou 3230-b.	Cellule de soudage HA/Bâtiment nucléaire de surface	B-02 Zone descenderie	>1 000 kW	Enregistrement
2563	2563 - Nettoyage-dégraissage de surface quelconque, par des procédés utilisant des liquides à base aqueuse ou hydrosolubles à l'exclusion des activités de nettoyage-dégraissage associées à du traitement de surface.	Ateliers de maintenance	E-11 Zone puits	<20 L	Non soumis
		Ateliers de maintenance	G-13 Zone puits	<20 L	
		Hangar de maintenance locotracteur	F-02 Zone descenderie	<20 L	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
2797	2797 - Déchets radioactifs (gestion des) mis en œuvre dans un établissement industriel ou commercial, hors accélérateurs de particules et secteur médical, dès lors que leur quantité susceptible d'être présente est supérieure à 10 m³ et que les conditions d'exemption mentionnées au 1° du I de l'article R. 1333-106 du code de la santé publique ne sont pas remplies. 1. Activités de gestion de déchets radioactifs hors stockage (tri, entreposage, traitement)	Bâtiment nucléaire de surface EP1	B-02 Zone descenderie	>10 m³	Autorisation
2910	2910 - Combustion à l'exclusion des activités visées par les rubriques 2770, 2771, 2971 ou 2931 et des installations classées au titre de la rubrique 3110 ou au titre d'autres rubriques de la nomenclature pour lesquelles la combustion participe à la fusion, la	Centrale de secours et poste de distribution 20 KV	E-06 Zone descenderie	12,5 MW + 5 MW secours	Déclaration avec contrôle
		Centrale de secours et poste de distribution 20 KV	E-05 Zone puits	7,5 MW +5 MW secours	
		Bâtiment sûreté/sécurité/environnement	E-11 Zone descenderie	0,5 MW +0,15 MW secours	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
	cuisson ou au traitement, en mélange avec les gaz de combustion, des matières entrantes A. Lorsque sont consommés exclusivement, seuls ou en mélange, du gaz naturel, des gaz de pétrole liquéfiés, du biométhane, du fioul domestique, du charbon, des fiouls lourds, de la biomasse telle que définie au a) ou au b) i) ou au b) iv) de la définition de la biomasse, des produits connexes de scierie et des chutes du travail mécanique de bois brut relevant du b) v) de la définition de la biomasse, de la biomasse issue de déchets au sens de l'article L. 541-4-3 du code de l'environnement, ou du biogaz provenant d'installations classées sous la rubrique 2781-1	Bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes (surface et fond) - Groupes électrogènes	E-13 Zone puits	0,25 MW +0,1 MW secours	
2921	2921 - Refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air généré par ventilation mécanique ou naturelle (installations de). 1. Installations de refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air généré par ventilation mécanique ou naturelle :	TAR refroidissement chantier ZSL extension quartiers	ITC (G-07)	645 kW	Déclaration avec contrôle
2925	2925 - Accumulateurs électriques (ateliers de charge d')	Galeries en construction/cellule MA-VL	/	25 kW	Déclaration
		Ateliers de maintenance	E-13 Zone descenderie	2 postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	
		Ateliers de maintenance	E-11 Zone puits	2 postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	
		Ateliers de maintenance	G-13 Zone puits	2 postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	
		Bâtiment nucléaire de surface EP1 Locaux batteries ASI	B-02 Zone descenderie	1 898 kW cumulé pour 26 à 208 kW selon les locaux	
		Tête de la descenderie colis Locaux batteries ASI	B-01 Zone descenderie	52 kW	
		Bâtiment nucléaire de surface EP1 Zones de charge de batterie de traction	B-02 Zone descenderie	<50 kW (par zone de charge)	
		Tête de la descenderie colis Zones de charge de batterie de traction	B-01 Zone descenderie	<50 kW	
		Local technique	ZSLT	>50 kW	
		Locaux technique	ZSLE	>50 kW	
2930	2930 - Ateliers de réparation et d'entretien de véhicules et engins à moteurs, y compris les activités de carrosserie et de tôlerie. 1. Réparation et entretien de véhicules et engins à moteur	Ateliers de maintenance	G-13 Zone puits	337 m²	Non soumis
		Ateliers de maintenance	E-11 Zone puis	214 m²	
		Ateliers de maintenance	E-13 Zone descenderie	403 m²	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
3550	3550 - Stockage temporaire de déchets dangereux ne relevant pas de la rubrique 3540, dans l'attente d'une des activités énumérées aux rubriques 3510, 3520, 3540 ou 3560 avec une capacité totale supérieure à 50 tonnes, à l'exclusion du stockage temporaire sur le site où les déchets sont produits, dans l'attente de la collecte.	Bâtiment nucléaire de surface EP1	B-02 Zone descenderie	>10 m³	Autorisation
4110	4110 - Toxicité aiguë catégorie 1 pour l'une au moins des voies d'exposition, à l'exclusion de l'uranium et ses composés.	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	G-13 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-11 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-13 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4120	4120 - Toxicité aiguë catégorie 2, pour l'une au moins des voies d'exposition.	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	G-13 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-11 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-13 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4130	4130 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour les voies d'exposition par inhalation.	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	G-13 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-11 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-13 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4140	4140 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour la voie d'exposition orale (H301) dans le cas où ni la classification de toxicité aiguë par inhalation ni la classification de toxicité aiguë par voie cutanée ne peuvent être établies, par exemple en raison de l'absence de données de toxicité par inhalation et par voie cutanée concluantes.	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	G-13 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-11 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-13 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
		Bâtiment nucléaire de surface EP1 Filière 5 (Local technique de dégazage) : chlorure de Baryum en poudre utilisé à hauteur de 1 g par analyse. Conditionné dans un pot de 1 kg. Classé à toxicité aigüe 3 en cas d'ingestion (H301)	B-02 Zone descenderie	0,001 t	
4320	4320 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, contenant des gaz inflammables de catégorie 1 ou 2 ou des liquides inflammables de catégorie 1.	Atelier de maintenanceProduits d'entretien et de maintenance	G-13 zone puits	Substance non identifiée,si présencealors 2 kg maxi	Non soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-11 zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4320	4320 - Liquides inflammables de catégorie 1, liquides inflammables maintenus à une température supérieure à leur point d'ébullition, autres liquides de point éclair inférieur ou égal à 60 °C maintenus à une température supérieure à leur température d'ébullition ou dans des conditions particulières de traitement, telles qu'une pression ou une température élevée.	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-13 zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
4321	4321 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, ne contenant pas de gaz inflammables de catégorie 1 ou 2, ni de liquide inflammable de catégorie 1.	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	G-13 zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	Non soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-11 zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-13 zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
4331	4331 - Liquides inflammables de catégorie 2 ou catégorie 3 à l'exclusion de la rubrique 4330.	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	G-13 zone puits	<150 L soit <118,5 kg	Non soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-11 zone puits	<150 L soit <118,5 kg	
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	E-13 zone descenderie	<150 L soit <118,5 kg	
		Bâtiment nucléaire de surface EP1 Armoires de stockage de produits (environ 12)	B-02 zone descenderie	0,12 t	
		Produits d'entretien et de maintenance : solvants, huiles et peintures	ZSLT	2 t	
		Bâtiment sûreté/sécurité/environnement Armoire de stockage de produits des laboratoires SE et SPR (solvants)	E-11 zone descenderie	<10 kg	
4442	4442 - Gaz comburants Catégorie 1.	Station d'épuration de traitement des eaux usées Chlore gazeux (bouteille)	E-10 zone descenderie	60 kg	Non soumis
		Station d'épuration de traitement des eaux usées Chlore gazeux (bouteille)	E-09 zone puits	28 kg	
		Réservoir eaux recyclées Chlore gazeux (bouteille)	E-15 zone descenderie	<30 kg	
4510	4510 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie aiguë 1 ou chronique 1.	Peinture, solvant	/	0,01 t	Non soumis
		Peinture, solvant	/	0,01 t	
		Eau de javel et produits de la même famille	ZSLT	2 t	
		Produits d'entretien et de maintenance type Eau de javel	Tout bâtiment conventionnel en INB	<10 L par bâtiment, soit <10 kg	
		Bâtiment sûreté/sécurité/environnement Armoire de stockage de produits des laboratoires SE et SPR (solvants)	E-11 zone descenderie	<10 kg	
		Station d'épuration de traitement des eaux usées Eau de javel et produits de la même famille	E-10 zone descenderie	<10 kg	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
		Station d'épuration de traitement des eaux usées Eau de javel et produits de la même famille	E-09 zone puits	<10 kg	Non soumis
		Unité de traitement des eaux de fond Eau de javel et produits de la même famille	E-16 zone descenderie	<10 kg	
4511	4511 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie chronique 2.	Produits d'entretien et de maintenance	/	0,01 t	
		Produits d'entretien et de maintenance des ateliers en surface	E-13 zone descenderie	0,03 t	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance des ateliers de maintenance dans le bâtiment nucléaire de surface EP1	B-02 zone descenderie	0,03 t	
		Produits d'entretien et de maintenance dans local technique en ZSL	ZSLE	0,03 t	
		Produits d'entretien et de maintenance	ZSLT	2 t	
		Produits d'entretien et de maintenance type Eau de javel	Tout bâtiment conventionnel en INB	<10 L par bâtiment, soit <10 kg	
4710	4710 - Chlore (numéro CAS 7782-50-5).	Unité de traitement des Eaux de fond	E-16 zone descenderie	<500 kg	Déclaration avec contrôle
		Unité de traitement des Eaux de fond	E-15 zone puits		
4715	4715 – Hydrogène (numéro CAS 133-74-0).		Alvéoles HA	50 kg	Non soumis

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4718	4718 - Gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2 (y compris GPL) et gaz naturel (y compris biogaz affiné, lorsqu'il a été traité conformément aux normes applicables en matière de biogaz purifié et affiné, en assurant une qualité équivalente à celle du gaz naturel, y compris pour ce qui est de la teneur en méthane, et qu'il a une teneur maximale de 1 % en oxygène).	Bouteilles de gaz pour les soudures des rails	/	0,42 t	Non soumis
4719	4719 - Acétylène (numéro CAS 74-86-2).	Acétylène en local T14 de la ZSLT	ZSLT	<25 kg	Non soumis
4725	Oxygène (numéro CAS 7782-44-7).	Bâtiment nucléaire de surface EP1 Oxygène (poste de découpe plasma - local de traitement des déchets d'exploitation)	B-02 zone descenderie	0,002 t	Non soumis
		Oxygène	ZSLT	<0,05 t	
4734	4734 - Produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution : essences et naphtas ; kérosènes (carburants d'aviation compris) ; gazoles (gazole diesel, gazole de chauffage domestique et mélanges de gazoles compris) ; fioul lourd ; carburants de substitution pour véhicules, utilisés aux mêmes fins et aux mêmes usages et présentant des propriétés similaires en matière d'inflammabilité et de danger pour l'environnement.	Aire carburant Gazole (ou gazole non routier)	G-14 zone puits	4,25 t (5 m³)	Enregistrement
		Bâtiment sûreté/sécurité/environnement Cuve FOD	E-11 zone descenderie	20 000 L soit 17 t	
		Bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes Cuve FOD	E-13 zone puits	3 000 L soit 2,5 t	
		FOD pour centrale secours 20 kV	E-09 zone descenderie	238 t (280 m³)	
		FOD pour centrale secours 20 kV	E-08 zone puis	170 t (200 m³)	
		Local de carburant et colonne carburant associée	Local technique Ouvrages souterrains	5 t	

Rubriques	Rubriques désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
		Cuve tampon en amont de la tête de la colonne carburant	-	5 t	
		Cuve des groupes électrogènes pour la puissance de secours des Puits travaux VFT, MMT et VVT	G-05 G-06 G-07 Zone puits	25 t (30 m³)	

Tableau 3-2 Tableau récapitulatif des ICPE situées sur le centre de stockage (hors INB)

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (217)	Quantités projetées	Classement associé
1185	1185 - Gaz à effet de serre fluorés visés à l'annexe I du règlement (UE) n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n° 842/2006 (214) ou substances qui appauvrissent la couche d'ozone visées par le règlement (CE) n° 1005/2009 (215) (fabrication, emploi, stockage) 2. Emploi dans des équipements clos en exploitation.	Bâtiment de production d'eau glacée	H-04 zone descenderie	Fluide vert type HFO (HFO R1233zd) >300 kg	Déclaration avec contrôle
		Bâtiment de production d'eau glacée	H-06 zone puits	Fluide vert type HFO (HFO R1233zd) >300 kg	
1435	1435 - Stations-service : installations, ouvertes ou non au public, où les carburants sont transférés de réservoirs de stockage fixes dans les réservoirs à carburant de véhicules	Aire carburant	A-04 zone descenderie	40 m³/an	Déclaration avec contrôle
		Aire carburant	H-01 zone puits	3 120 m³/an	
1510	1510 - Entrepôts couverts (installations, pourvues d'une toiture, dédiées au stockage	Atelier de maintenance	A-07 zone descenderie	<500 t de combustibles Maxi 7 560 m³	Non Soumis
	de matières ou produits combustibles en quantité supérieure à 500 tonnes), à l'exception des entrepôts utilisés pour le stockage de matières, produits ou substances classés, par ailleurs, dans une unique rubrique de la présente nomenclature, des bâtiments destinés exclusivement au remisage des véhicules à moteur et de leur remorque, des établissements recevant du public et des entrepôts exclusivement frigorifiques	Atelier de maintenance	A-04 zone puits	<500 t de combustibles Maxi 800 m³	
1532	Bois ou matériaux combustibles analogues, y compris les produits finis conditionnés et les produits ou déchets répondant à la définition de la biomasse et mentionnés à la rubrique 2910-A, ne relevant pas de la rubrique 1531 (stockage de), à l'exception des établissements recevant du public	Bâtiment chaufferie zone descenderie	H-05	-	Non Soumis
		Bâtiment chaufferie zone puits	H-07	-	
1630	1630 - Soude ou potasse caustique (emploi ou stockage de lessives de), le liquide renfermant plus de 20 % en poids d'hydroxyde de sodium ou de potassium	Lessive de soude (soude en solution entre 5 et 50 %) Atelier de maintenance	A-07 zone descenderie	4 L soit <8 kg <1 t	Non Soumis
1978	1978. Solvants organiques (installations et activités mentionnées à l'annexe VII de la directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 (216)	Ateliers de maintenance	A-07 zone descenderie	10 kg/an	Non Soumis
		Ateliers de maintenance	A-04 zone puits	10 kg/an	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (217)	Quantités projetées	Classement associé
	relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) 4. Nettoyage de surface à l'aide de composés organiques volatils à mentions de danger H340, H350, H350i, H360D ou H360F, ou de composés organiques volatils halogénés à mentions de danger H341 ou H351, au sens du règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006 5. Autres nettoyages de surface	Atelier de maintenance	H-09 zone puits	20 kg/an	
2516	2516 - Station de transit de produits minéraux pulvérulents non ensachés tels que ciments, plâtres, chaux, sables fillerisés ou de déchets non dangereux inertes pulvérulents	Centrale à béton zone puits	H-03	11 800 m³	Déclaration
2563	2563 - Nettoyage-dégraissage de surface quelconque, par des procédés utilisant des liquides à base aqueuse ou hydrosolubles à l'exclusion des activités de nettoyage-dégraissage associées à du traitement de surface	Ateliers de maintenance	A-07 zone descenderie	<20L	Déclaration avec contrôle
		Ateliers de maintenance	A-04 zone puits	<20L	
		Atelier de maintenance	H-09 zone puits	500 L	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (217)	Quantités projetées	Classement associé
2910	2910 - Combustion à l'exclusion des activités visées par les rubriques 2770, 2771, 2971 ou 2931 et des installations classées au titre de la rubrique 3110 ou au titre d'autres rubriques de la nomenclature pour lesquelles la combustion participe à la fusion, la cuisson ou au traitement, en mélange avec les gaz de combustion, des matières entrantes	Bâtiment chaufferie	H-05 zone descenderie	7,4 MW	Déclaration avec contrôle
		Bâtiment chaufferie	H-07 zone puits	4,9 MW	
2925	2925 - Accumulateurs électriques (ateliers de charge d')	Ateliers de maintenance	A-07 zone descenderie	2 postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	Déclaration
		Ateliers de maintenance	A-04 zone puits	2 postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	
		Ateliers de maintenance Emprise maintenance	H-09 zone puits	>50 kW	
2930	2930 - Ateliers de réparation et d'entretien de véhicules et engins à moteurs, y compris les activités de carrosserie et de tôlerie 1. Réparation et entretien de véhicules et engins à moteur	Ateliers de maintenance	A-07 zone descenderie	254 m²	Non Soumis
		Ateliers de maintenance	A-04 zone puits	156 m²	
		Ateliers de maintenance Emprise maintenance	H-09 zone puits	583 m²	
4110	4110 - Toxicité aiguë catégorie 1 pour l'une au moins des voies d'exposition, à l'exclusion de l'uranium et ses composés	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (217)	Quantités projetées	Classement associé
4120	4120 - Toxicité aiguë catégorie 2, pour l'une au moins des voies d'exposition	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4130	4130 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour les voies d'exposition par inhalation	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4140	4140 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour la voie d'exposition orale (H301) dans le cas où ni la classification de toxicité aiguë par inhalation ni la classification de toxicité aiguë par voie cutanée ne peuvent être établies, par exemple en raison de l'absence de données de toxicité par inhalation et par voie cutanée concluantes	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4310	4310 - Gaz inflammables Catégorie 1 et 2	Atelier de maintenance Produits stockés : bouteille d'argon-méthane	A-07 zone descenderie	5 L soit <10 kg	Non Soumis
4320	4320 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, contenant des gaz inflammables de catégorie 1 ou 2 ou des liquides inflammables de catégorie 1	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	Non Soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
4321	4321 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, ne contenant pas de gaz inflammables de catégorie 1 ou 2, ni de liquide inflammable de catégorie 1	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
4331	4331 - Liquides inflammables de catégorie 2 ou catégorie 3 à l'exclusion de la rubrique 4330	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 zone descenderie	<150 L soit <118,5 kg	Non Soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 zone puits	<150 L soit <118,5 kg	
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance : solvants, huiles et peintures	H-09 zone puits	4,6 t	
4441	4441 - Liquides comburants catégorie 1, 2 ou 3	Centre médical Eau oxygénée	A-01 zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors <2 l	Non Soumis
		Centre médical Eau oxygénée	A-01 zone puits	Substance non identifiée,si présencealors <2 l	
4442	4442 - Gaz comburants catégorie 1	Centre médical Protoxyde d'azote (gaz médicaux)	A-01 zone descenderie	<2 t	Non Soumis
		Centre médical Protoxyde d'azote (gaz médicaux)	A-01 zone puits	<2 t	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (217)	Quantités projetées	Classement associé
4510	4510 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie aiguë 1 ou chronique 1	Atelier de maintenance Eau de javel et produits de la même famille	H-09 zone puits	4,6 t	Non Soumis
		Produits d'entretien et de maintenance type Eau de javel	Tout bâtiment conventionnel hors INB	<10 L par bâtiment, soit <10 kg	
		Atelier de maintenance Produits stockés : Ultima Gold XR, Ultima Gold F (9L)	A-07 zone descenderie	9 L soit <10 kg	
		Unité de traitement des eaux de fond Eau de javel et produits de la même famille	E-15 zone puits	<10 kg	
4511	4511 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie chronique 2	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	H-09 zone puits	4,6 t	Non Soumis
		Produits d'entretien et de maintenance type Eau de javel	Tout bâtiment conventionnel hors INB	<10 L par bâtiment, soit < 10 kg	
		Atelier de maintenance Produits stockés : Hionic Fluor (9L)	A-07 zone descenderie	9 L soit < 10 kg	
4719	4719 – Acétylène (numéro CAS 74-86-2)	Atelier de maintenance Acétylène en local soudure du H-09	H-09 zone puits	<10 kg	Non Soumis
4725	Oxygène (numéro CAS 7782-44-7)	Atelier de maintenance Oxygène	H-09 zone puits	<0,05 t	Non Soumis
4734	4734 - Produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution : essences et naphtas ; kérosènes (carburants d'aviation compris) ; gazoles (gazole diesel, gazole de chauffage domestique et mélanges de gazoles compris) ; fioul lourd ; carburants de substitution pour véhicules, utilisés aux mêmes fins et aux mêmes usages et présentant des propriétés similaires en matière d'inflammabilité et de danger pour l'environnement	Aire carburant Gazole (ou gazole non routier)	H-01 zone puits	51 t (60 m³)	Déclaration avec contrôle (en considérant des cuves de stockage enterrées)
		Aire carburant Essence	A-04 zone descenderie	7,5 t (10 m³)	
		Aire carburant Gazole (ou gazole non routier)	A-04 zone descenderie	8,5 t (10 m³)	

Tableau 3-3 Tableau récapitulatif des IOTA dans le périmètre de l'INB

Rubrique	Désignation	Installation/Ouvrage		Quantités projetées	Classement associé
		Nom	Référence		
1.1.1.0	Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau.	Piézomètre de suivi/surveillance INB Cigéo	/	Concerné	Déclaration
1.1.2.0	Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant.	Pompage et drainage des eaux d'exhaure Oxfordien	LSF – puits et descenderies	110 000 m³/an max.	**Déclaration**

Rubrique	Désignation	Installation/Ouvrage		Quantités projetées	Classement associé
		Nom	Référence		
2.1.1.0.	Systèmes d'assainissement collectif des eaux usées et installations d'assainissement non collectif destinés à collecter et traiter une charge brute de pollution organique au sens de l'article R. 2224-6 du code général des collectivités territoriales :	Station d'épuration de traitement des eaux usées (effluents liquides conventionnels)	E-10 zone descenderie	Flux DBO5 au pic en entrée de filière = 92 kg/j	Déclaration
		Station d'épuration de traitement des eaux usées (effluents liquides conventionnels)	E-09 zone puits	Flux DBO5 au pic en entrée de filière = 32 kg/j	Déclaration
2.1.5.0.	Rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant.	Bâtiments, surfaces imperméabilisées et non imperméabilisées de la zone descenderie	zone descenderie	Surfaces imperméa-bilisées = 31 ha	Autorisation
				Surfaces non imperméa-bilisées raccordées = 117 ha	
		Bâtiments, surfaces imperméabilisées et non imperméabilisées de la zone puits	zone puits	Surfaces imperméa-bilisées = 26 ha	
				Surfaces non imperméa-bilisées raccordées = 38 ha	
		Surfaces des verses	Zone puits	Surface raccordée maximum 78 ha	
2.2.1.0.	Rejet dans les eaux douces superficielles susceptible de modifier le régime des eaux, à l'exclusion des rejets mentionnés à la rubrique 2.1.5.0 ainsi que des rejets des ouvrages mentionnés à la rubrique 2.1.1.0, la capacité totale de rejet de l'ouvrage étant.	Réservoir eaux recyclées	E-15 Zone descenderie	Débit moyen interann. Bureau non connu/Orge = 0,13 m³/s Production maximum Efond de 293 m³/j	Déclaration
		Réservoir eaux recyclées	E-12/E-14 Zone puits	Débit moyen interann. Ormançon = 0.08 m³/s Production maximale Efond de 185 m³/j	
2.2.3.0.	Rejet dans les eaux de surface, à l'exclusion des rejets réglementés au titre des autres rubriques de la présente nomenclature ou de la nomenclature des installations classées annexée à l'article R. 511-9.	Réservoir eaux recyclées - Eaux de fond	E-15 Zone descenderie	Quantité projetée estimée supérieure au seuil R1	Déclaration
		Réservoir eaux recyclées - Eaux de fond	E-12/E-14 Zone puits		
2.3.2.0	Recharge artificielle des eaux souterraines	Ouvrages de réinfiltration associés à la paroi étanche	Zone descenderie	La recharge artificielle des nappes est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, l'infiltration d'eaux extérieures (e.g. Rivière) jusqu'à l'aquifère. Il s'agit de préserver la qualité des eaux souterraines.	Non soumis

Rubrique	Désignation	Installation/Ouvrage		Quantités projetées	Classement associé
		Nom	Référence		
				Dans le cadre du centre de stockage Cigéo, afin de limiter les remontées de nappes en amont hydraulique de la paroi étanche, des drains sont mis en place pour créer des zones d'écoulements préférentiels. Des ouvrages de réinfiltration permettront d'orienter les eaux de nappe drainées (eaux du Barrois) dans le même aquifère. Ces eaux ne seront pas remontées en surface.	
3.2.5.0	Barrage de retenue et ouvrages assimilés relevant des critères de classement prévus par l'article R. 214-112.	Bassins qualitatif et quantitatif des eaux de ruissellement des verses	G-11 zone puits	Classe C	Autorisation
3.3.4.0	Travaux de recherche de stockages souterrains de déchets radioactifs : a) Travaux de recherche nécessitant un ou plusieurs forages de durée de vie supérieure à un an - A b) Autres travaux de recherche - D	INB Cigéo	/	/	Autorisation
5.1.5.0	Travaux d'exploitation de stockages souterrains de déchets radioactifs	INB Cigéo	/	/	Autorisation

Tableau 3-4 Tableau récapitulatif des IOTA situées sur le centre de stockage (hors INB)

Rubrique	Désignation	Installation/Ouvrage		Quantités projetées	Classement IOTA associé
		Nom	Référence		
1.1.1.0	Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau	Piézomètre de suivi/surveillance Centre de stockage Cigéo	/	Concerné	Déclaration
3.3.4.0	Travaux de recherche de stockages souterrains de déchets radioactifs : a) Travaux de recherche nécessitant un ou plusieurs forages de durée de vie supérieure à un an – A b) Autres travaux de recherche - D	Centre de stockage Cigéo	/	/	Autorisation

3.2.2 L'INB Cigéo objet de la demande d'autorisation de création

QU'EST-CE UNE INSTALLATION NUCLEAIRE DE BASE « INB »

Une installation nucléaire de base (INB) est une installation qui, en raison sa nature ou de la quantité ou de l'activité des substances radioactives qu'elle contient, est soumise à des dispositions particulières en vue de protéger les personnes et l'environnement.

Le code de l'environnement précise que le périmètre d'une INB englobe :

- l'installation nucléaire de base (article. L. 593-2 et article. R. 593-26, alinéa II 2°a) ;
- les équipements, installations, ouvrages, travaux ou activités implantés ou exercés dans son périmètre et placés sous la responsabilité du même exploitant, qui sont nécessaires à son fonctionnement, y compris ceux qui sont inscrits aux nomenclatures prévues à l'article L. 214-2 du code de l'environnement, dite nomenclature IOTA, et/ou à l'article L. 511-2 du code de l'environnement, dite ICPE (article. L. 593-3 et article R. 593-26, II.2°a) ;
- les équipements, installations, ouvrages, travaux ou activités inscrits aux nomenclatures prévues à l'article L. 214-2, dite nomenclature IOTA, et/ou à l'article L. 511-2, dite nomenclature ICPE, implantés ou exercés dans son périmètre et placés sous la responsabilité du même exploitant, non nécessaires à son fonctionnement mais qui, par leur proximité ou leur connexité avec l'installation faisant l'objet de la demande d'autorisation de création (DAC), sont susceptibles d'en modifier les risques ou inconvénients qu'elle peut présenter pour la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement (article. R. 593-26, alinéa II 2°b) et article L. 593-33).

  L'INB Cigéo comprend :

- une zone descenderie (ZD) comprenant :
  - ✓ les installations dédiées au fonctionnement du process nucléaire :
    - le terminal ferroviaire nucléaire (TFN) permettant de recevoir les convois acheminant les colis de déchets (y compris le hangar de maintenance du locotracteur associé) ;
    - les installations nucléaires de surface (bâtiment nucléaire de surface EP1, puis ultérieurement ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal ETH et bâtiment nucléaire de surface EP2[154]) dédiées à la prise en charge, au contrôle et à la préparation des colis de déchets avant leur descente dans les ouvrages souterrains *via* la tête de descenderie colis (TDC) ;
  - ✓ les installations support incluant (liste non exhaustive) : la tête de descenderie de service (TDS), le bâtiment sureté/sécurité/environnement, la centrale de distribution en électricité haute-tension, la station de traitement des effluents liquides, les bassins de gestion des eaux etc. ;
- une zone puits (ZP) comprenant :
  - ✓ les installations situées en « zone travaux », prévues en soutien des activités de creusement et de construction progressive des nouveaux alvéoles, de stockage des déblais d'excavation ; la zone travaux de la zone puits contient notamment :
    - les puits de ventilation travaux ou de transfert de matériels et matériaux ;
    - La zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien) ;
  - ✓ les installations situées en « zone exploitation » directement associées au fonctionnement du process nucléaire, avec notamment les puits de ventilation de la zone d'exploitation souterraine ;
  - ✓ les installations support incluant (liste non exhaustive) : les postes de garde et contrôle des accès, le bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes, le bâtiment « lampisterie », la centrale de distribution en électricité haute-tension, la station de traitement des effluents liquides, les bassins de gestion des eaux etc. ;
- une zone d'implantation d'ouvrages souterrains (ZIOS) regroupant :
  - ✓ les liaisons surface-fond (descenderies colis et service, puits exploitation et travaux) ;
  - ✓ les zones de stockage des colis de déchets radioactifs au sein de différents quartiers ;
- les zones de soutien logistique associées.

[154] Le périmètre initial de l'INB Cigéo englobe à ce stade l'emprise du bâtiment EP1, mais n'englobe pas l'emprise du futur bâtiment EP2 qu'il n'est envisagé de construire qu'à l'horizon 2080

PÉRIMÈTRE INB

Dans le dossier de demande de création de l'INB auquel est joint la présente étude d'impact, le périmètre INB est continu et connexe en « 3D » (une seule INB). Ce périmètre est représenté sur la en pointillés rouges : il est constitué de deux zones se trouvant en surface et séparées de plusieurs kilomètres (l'une sur la zone descenderie et l'autre sur la zone puits) mais reliées par une zone souterraine (la zone d'implantation d'ouvrages souterrains).

Le périmètre INB est représenté en rouge sur la figure 3-3 et la figure 3-4 en pages suivantes.

À l'issue du processus d'instruction du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo, l'autorisation de création de l'INB Cigéo sera *in fine* délivrée par décret en Conseil d'État du Premier ministre contresigné par le ministre chargé de la sûreté nucléaire qui arrêtera officiellement le périmètre et les caractéristiques de l'INB.

Les installations et ouvrages du périmètre INB sont présentés dans les chapitres 3.2.2.1, 3.2.4 et 3.2.5 du présent volume. Ils sont repérés à l'aide du tableau suivant mentionné en début de chapitre les concernant.

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone descenderie (ZD) et zone puits (ZP) En souterrain, zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

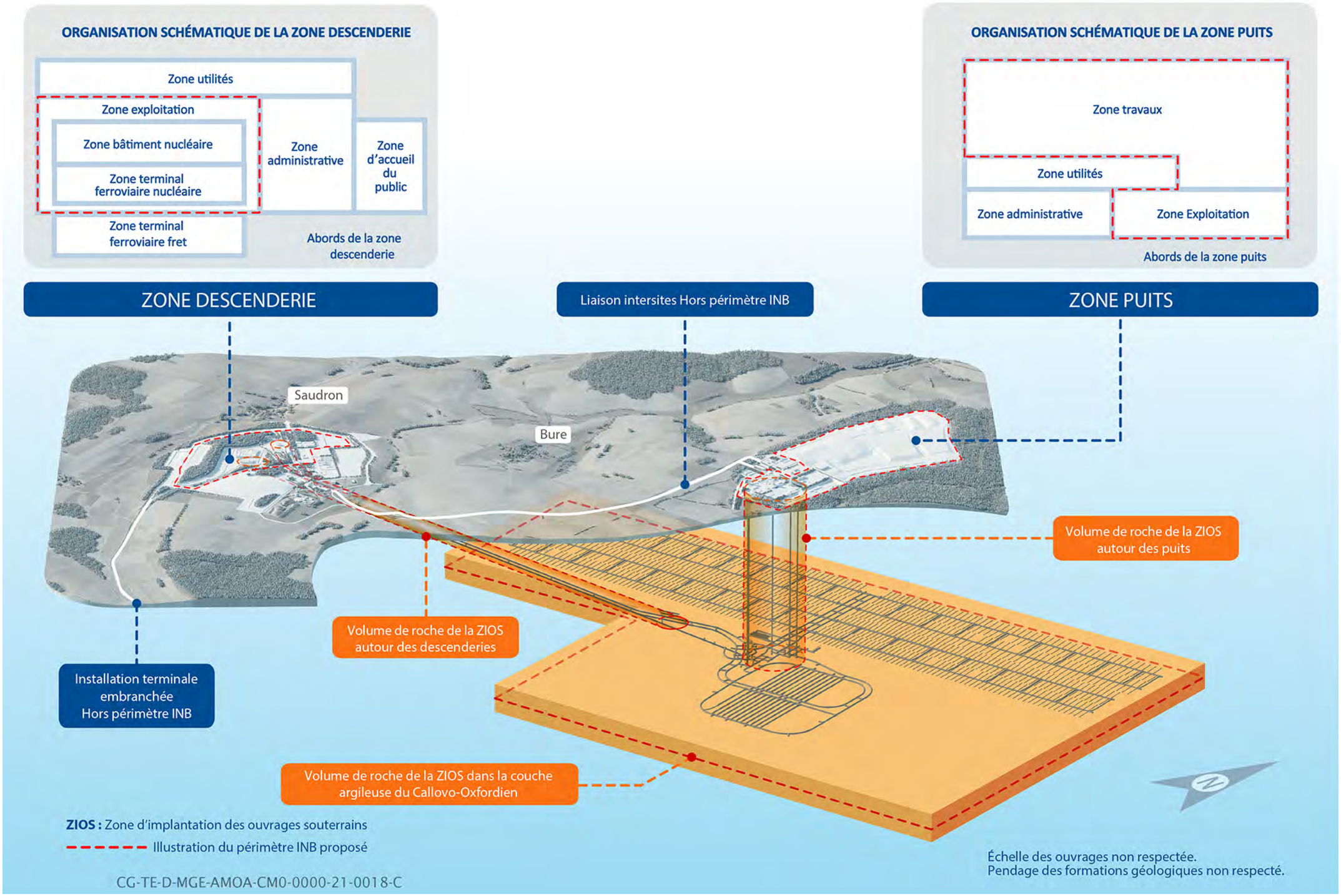


Figure 3-2 *Représentation illustrative du périmètre INB Cigéo*

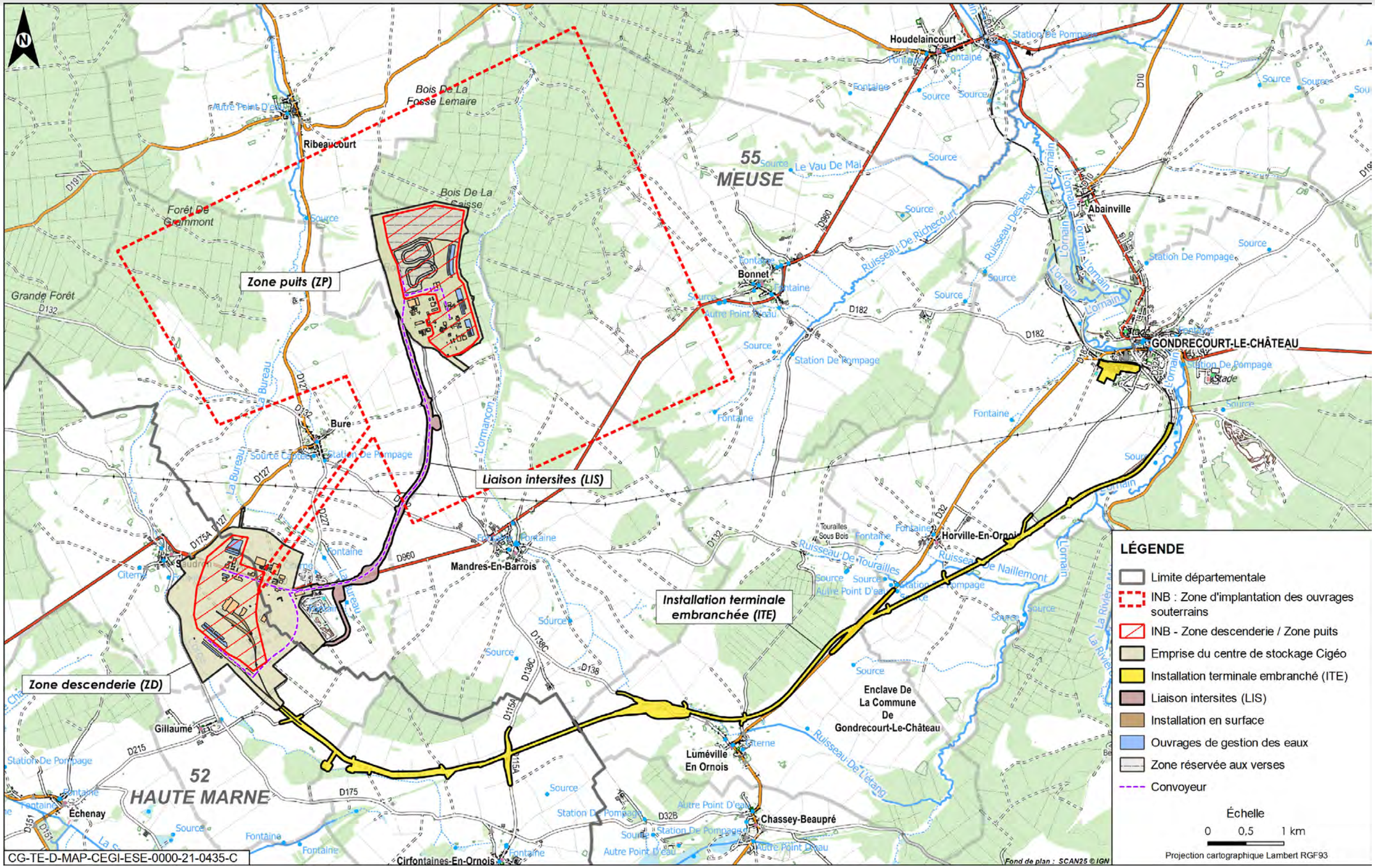


Figure 3-3 Présentation du périmètre INB – zones de surface

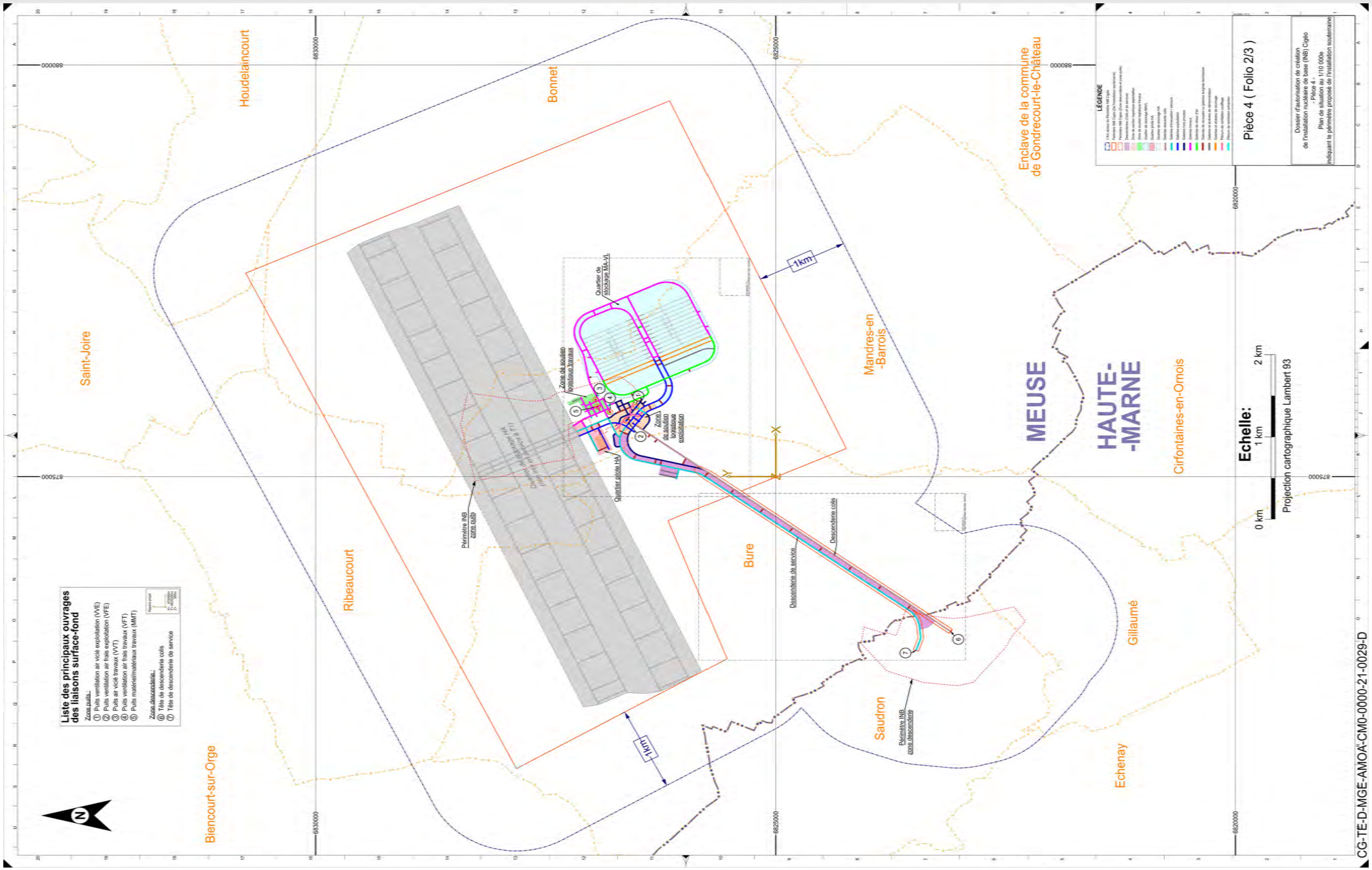


Figure 3-4 Présentation du périmètre INB – zone souterraine

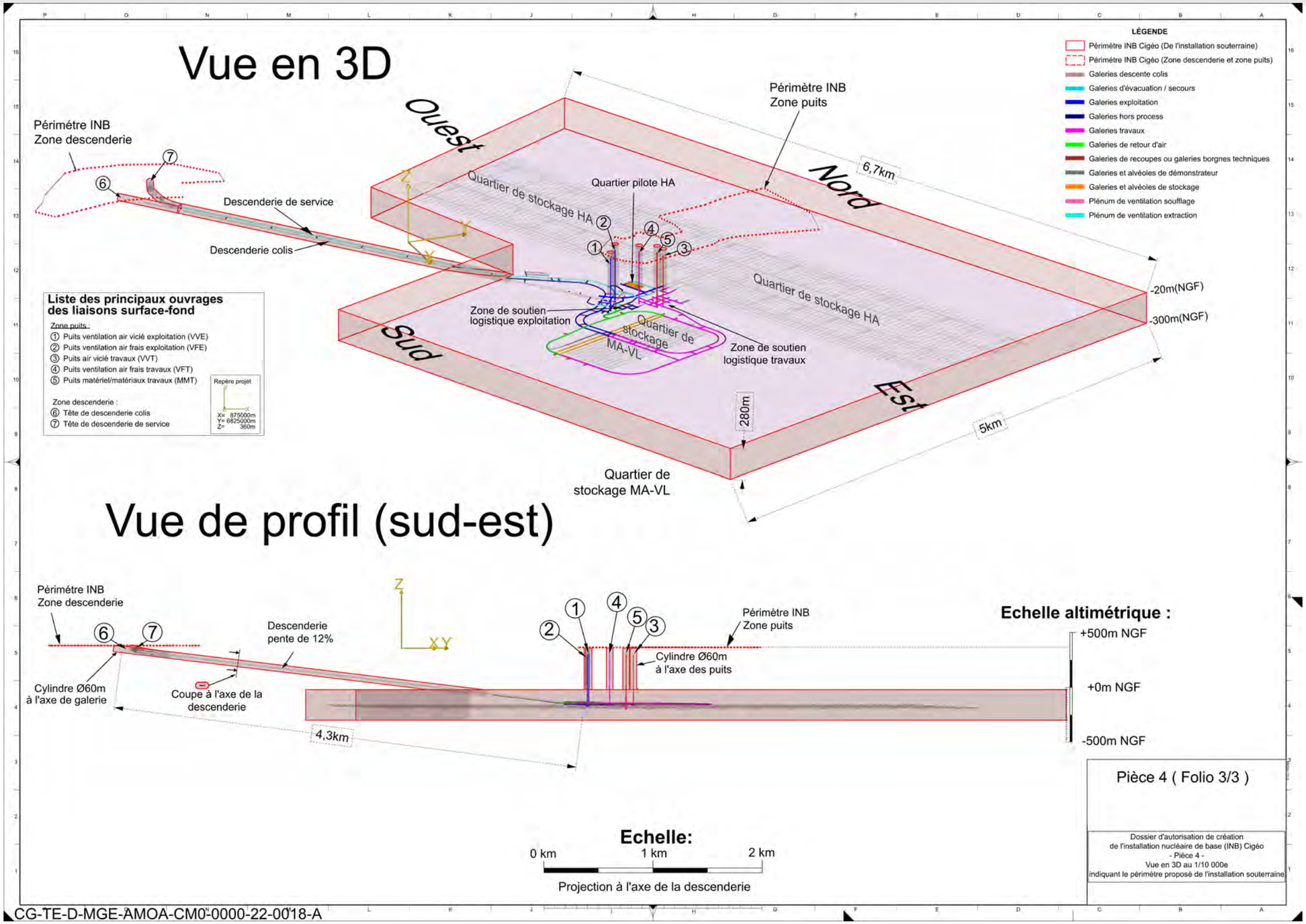


Figure 3-5 *Vue en 3D de l'installation souterraine*

3.2.2.1 Les principes de fonctionnement du l'INB Cigéo

Une fois la mise en service autorisée, les activités nucléaires de l'INB Cigéo seront principalement des opérations de manutention et de contrôle de colis de déchets radioactifs dont les processus de fabrication par les différents producteurs auront été préalablement approuvés. À l'exception de quelques postes de travail nécessitant la présence d'opérateurs auprès des équipements, les séquences opératoires liées au process nucléaire pour le stockage des colis sont pour la plupart complètement automatisées.

Pendant toutes les phases de vie de l'INB, ces activités sont encadrées par un ensemble d'actions liées à la surveillance et à la protection des intérêts tels que définis dans le code de l'environnement dans le cadre de son exploitation.

L'exploitation de l'INB permet en premier lieu de réaliser en surface la réception et le déchargement des colis primaires (CP) à partir des emballages de transport acheminés en zone descenderie. Au sein du bâtiment nucléaire de surface, elle permet ensuite d'effectuer la préparation ainsi que les divers contrôles et manutentions des colis de stockage (CS). Une fois confectionnés, ces colis de stockage sont placés dans des hottes puis transférés jusqu'au funiculaire positionné en tête de descenderie colis.

Une fois individuellement positionnées sur le funiculaire, les hottes contenant le(s) colis de stockage sont transférées vers le réseau de galeries souterraines jusqu'aux alvéoles de stockage. Les colis sont enfin extraits des hottes pour leur positionnement au sein des alvéoles. Toutes ces opérations sont pilotées à distance à partir de la salle de conduite centralisée situées dans le bâtiment nucléaire de surface en zone descenderie.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente pour sa part le fonctionnement global de l'INB Cigéo en termes de process nucléaire avec les principales fonctions suivantes :

- la réception et la préparation des emballages de transport contenant les colis primaires ;
- le déchargement des colis primaires des emballages de transport ;
- la préparation des colis de stockage ;
- le transfert et la fermeture des colis de stockage ;
- la mise en place des colis de stockage dans les hottes de transfert ;
- le transfert et la mise en place des hottes sur le funiculaire ;
- le transfert des hottes sur le funiculaire dans la descenderie colis ;
- le transfert des hottes dans les galeries souterraines ;
- le stockage en alvéoles des colis de stockage.

LES MODES DE STOCKAGE DES COLIS DE DECHETS RADIOACTIFS

Au niveau du bâtiment nucléaire de surface EP1, les colis primaires « HA » sont mis en conteneur de stockage en acier noir soudé au préalable à leur stockage souterrain en alvéole.

Pour leur part, le stockage en alvéole des colis primaires de déchets « MA-VL » prévoit :

- une possibilité de stockage des colis directement en alvéole (également dénommé « stockage direct »), en considérant les deux cas suivants suivant leurs caractéristiques :
  - ✓ le stockage du colis primaire directement ;
  - ✓ le stockage du colis primaire en panier de stockage pour permettre la manutention de plusieurs colis primaires dans un même panier ;
- le stockage des colis après mise en conteneur de stockage, avec deux possibilités :
  - ✓ le stockage en conteneur standard ;
  - ✓ le stockage en conteneur renforcé vis-à-vis du confinement.

Dans le contexte général de l'INB Cigéo, le stockage de colis de déchets radioactifs en formation géologique profonde s'effectue *« dans le respect du principe de réversibilité*[155] *»* avec notamment les enjeux suivants pour ce qui concerne les activités d'exploitation (cf. « Pièce 8 - Étude de maitrise des risques » (2)) :

- la flexibilité du fonctionnement permettant d'absorber des variations liées par exemple aux chroniques de réception des colis, flux de réception, date d'obturation d'alvéoles ou de quartiers de stockage, sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction d'ouvrages nouveaux ;
- la récupérabilité qui correspond à la capacité à retirer du centre de stockage des colis qui y ont été stockés ; l'INB Cigéo est conçu pour que, sur toute la période allant de sa mise en service jusqu'à sa fermeture définitive, les colis stockés puissent en être retirés.

[155] 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. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage. ».

1 TRANSFERT DES COLIS DE DÉCHETS JUSQU'AU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO

Les colis de déchets HA et MA-VL arrivent essentiellement par train depuis les sites des producteurs, où ils sont actuellement entreposés, jusqu'au centre de stockage Cigéo, pour leur mise en stockage.
Ce mode de transport nécessite un raccordement ferroviaire entre Gondrecourt-le-Château et la zone «descenderie» du centre de stockage Cigéo : c'est l'installation terminale embranchée (ITE). Seuls quelques colis de déchets MA-VL arrivent par camion.



2 RÉCEPTION DES COLIS DE DÉCHETS

A leur arrivée sur le centre de stockage Cigéo, les emballages de transport sont réceptionnés. Les colis de déchets sont déchargés de leur emballage de transport dans des bâtiments en surface.





Exemple pour les colis de déchets MA-VL

3 CONTRÔLE ET PRÉPARATION DES COLIS DE DÉCHETS

Les colis de déchets font l'objet d'un contrôle après leur déchargement dans l'installation. Les colis de stockage sont ensuite préparés :

- Les colis de déchets MA-VL, selon leurs caractéristiques, peuvent être placés dans des conteneurs en béton ou en acier, dans des paniers en acier ou stockés directement.
- Les colis de déchets HA sont placés dans des conteneurs en acier soudés.



Colis de déchets HA



Colis de déchets MA-VL

4 MISE EN PLACE DES COLIS DE DÉCHETS DANS LES HOTTES DE TRANSFERT

Les colis de déchets sont ensuite placés dans une «hotte», qui assure la radioprotection pendant leur transfert de la surface vers les alvéoles de stockage de l'installation souterraine.



Hotte de transfert HA



Hotte de transfert MA-VL

5 TRANSFERT DES COLIS DE DÉCHETS DANS L'INSTALLATION SOUTERRAINE

La hotte est placée sur un funiculaire qui descend les colis de déchets jusqu'au niveau du stockage à environ 500 mètres de profondeur. Ce moyen de transfert a été conçu pour être le plus sûr possible : les moteurs sont déportés en surface, le chariot reste en place en cas de panne, la vitesse de déplacement est réduite.

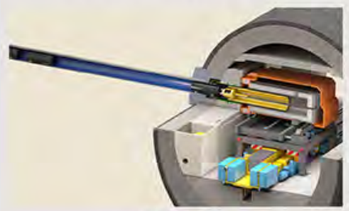


Exemple de la hotte de transfert HA

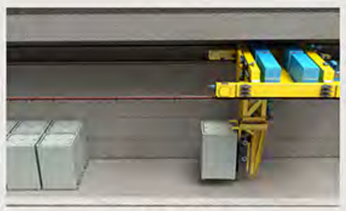
6 STOCKAGE DES COLIS DE DÉCHETS

La hotte est déplacée sur une navette de transfert robotisée qui achemine les colis de déchets jusqu'aux alvéoles de stockage.

- Les colis de déchets HA sont stockés dans des microtunnels d'environ 60 cm de diamètre utile et d'une centaine de mètres de long. Ils sont poussés dans l'alvéole à l'aide d'un robot pousseur.
- Les colis de déchets MA-VL sont stockés dans des tunnels d'environ 8 mètres de diamètre utile et de quelques centaines de mètres de longueur. En fonction de leur nature, ils peuvent être disposés sur un seul niveau ou empilés jusqu'à 3 niveaux.



Alvéole HA



Alvéole MA-VL

CG-TE-D-MGE-AMOA-CM0-0000-18-0023-G

Figure 3-6 Cheminement des colis de déchets jusqu'à leur emplacement de stockage

À titre illustratif pour les déchets MA-VL, les Figure 3-7 à Figure 3-10permettent de visualiser les opérations de mise en conteneurs des « colis primaires », la conception générale de la hotte de protection mise en œuvre pour le transfert des colis de stockage, ainsi que le transfert de la hotte jusqu'aux espaces de stockage.

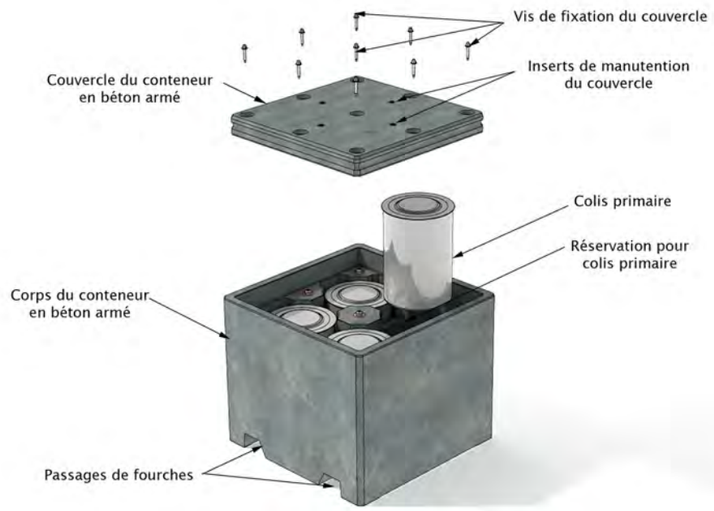


Figure 3-7 Illustration de la mise en conteneur de stockage de colis de déchets MA-VL

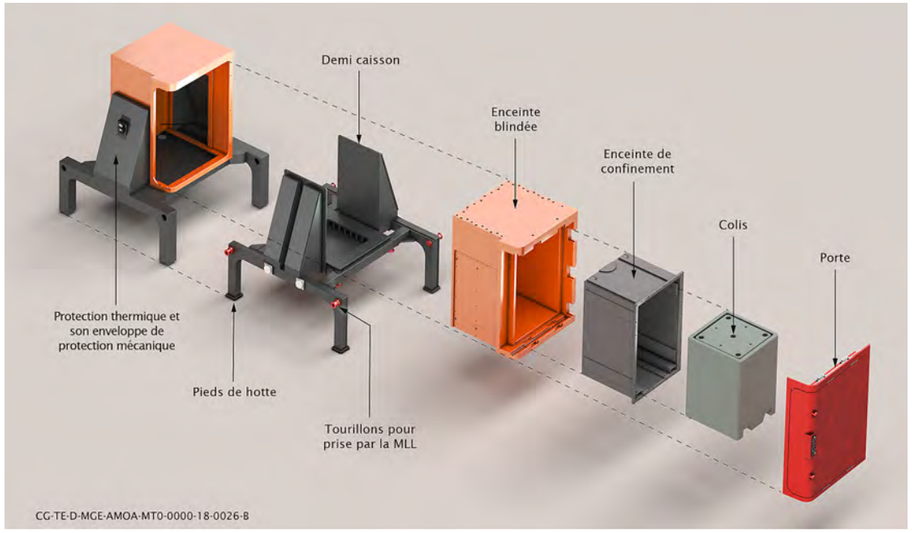


Figure 3-8 Vue éclatée d'une hotte pour colis de déchets MA-VL

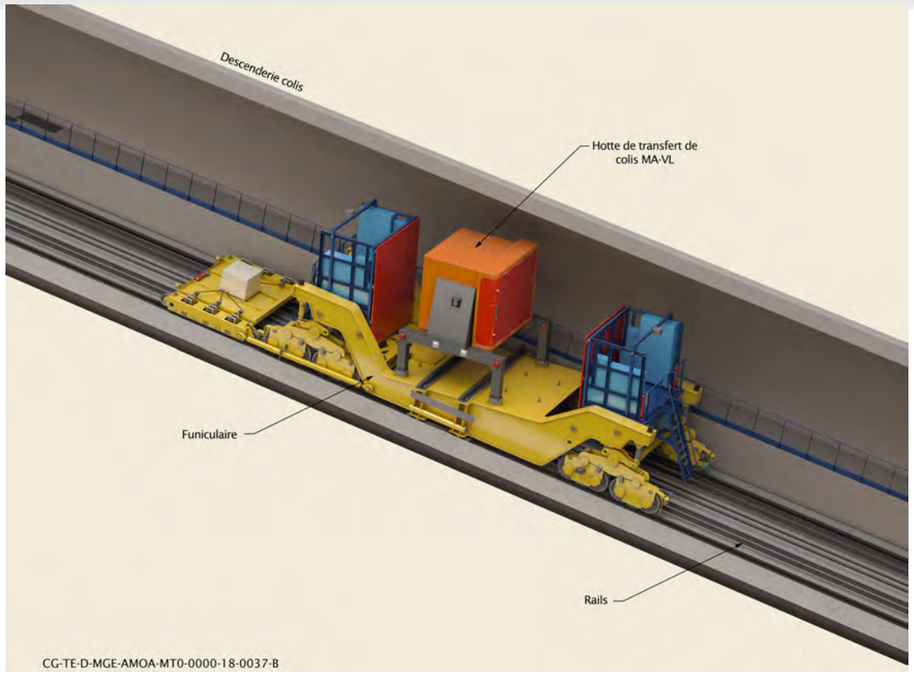


Figure 3-9 Illustration du funiculaire transportant une hotte MA-VL dans la descenderie

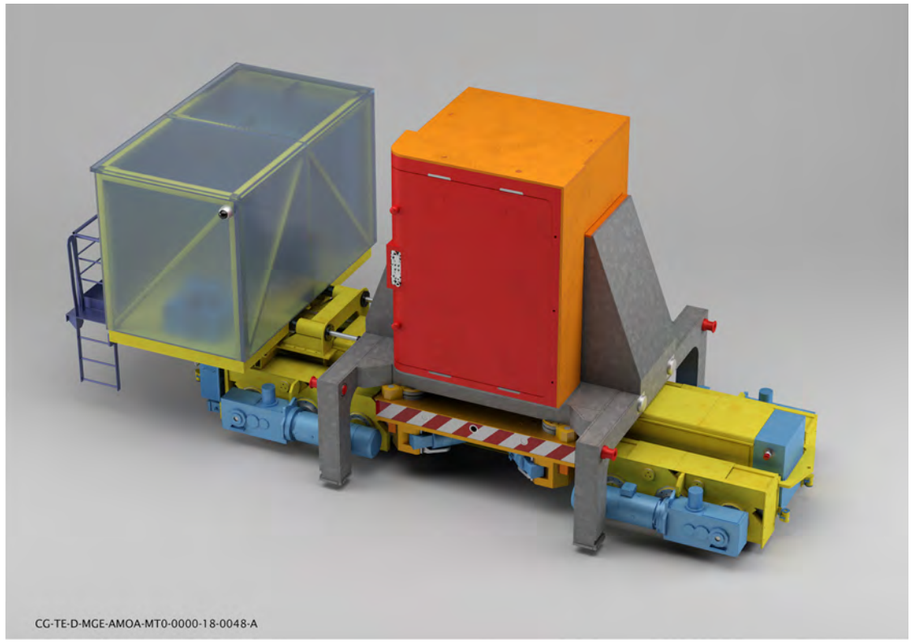


Figure 3-10 Illustration du système de transfert automatisé d'une hotte MA-VL

Les alvéoles de stockage sont présentées et illustrées au chapitre 3.2.5.4.1 du présent volume.

La Figure 3-10 et la Figure 3-11 illustrent pour les déchets HA, la mise en conteneurs d'un « colis primaires » et la vue d'une hotte de protection mise en œuvre pour le transfert des conteneurs.



Figure 3-11 Illustration de conteneur de stockage de colis de déchets HA

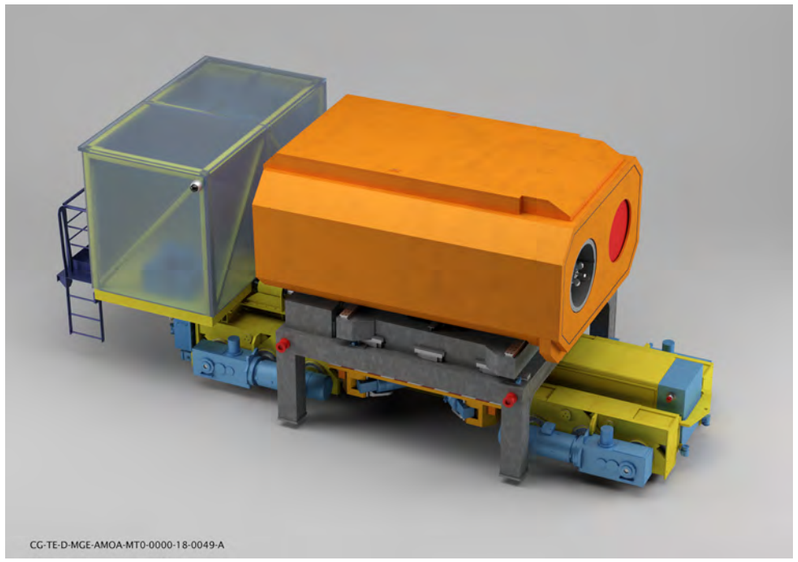


Figure 3-12 Illustration du système de transfert automatisé d'une hotte HA

Les alvéoles de stockage sont présentées et illustrées au chapitre 3.2.5.4.2 du présent volume.

3.2.2.2 Le processus d'acceptation et de contrôle des colis

Le processus d'acceptation des colis est encadré par la décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage.

Ainsi, conformément aux exigences, le centre de stockage Cigéo acceptera uniquement des colis de déchets radioactifs (conditionnés sur les sites des producteurs) respectant l'ensemble des critères permettant de s'assurer de la sûreté du centre de stockage. Au préalable, les producteurs devront soumettre à l'Andra une demande d'approbation pour que leurs colis de déchets puissent être réceptionnés sur le centre de stockage Cigéo. Cette demande devra comporter la démonstration que ces colis respectent les critères techniques, appelés « spécifications d'acceptation ». Ces spécifications sont définies par l'Andra (en cohérence avec les exigences opérationnelles et les exigences de sûreté du stockage) et validées par l'ASN.

Les colis de déchets feront par ailleurs l'objet de contrôles à leur réception sur le centre de stockage :

- un contrôle « documentaire » du dossier fourni par le producteur et accompagnant le colis depuis son site d'expédition et du numéro d'identification du colis ;
- un contrôle « physique » au déchargement sur le centre de stockage Cigéo afin de vérifier le respect des critères techniques spécifiés du colis. Ces contrôles sont associés à des critères radiologiques, comme des mesures du débit de dose au contact et à 2 mètres, des mesures de contamination surfacique, et à des critères physiques de dimensions, de masse…

Ces contrôles à réception ne sont par ailleurs pas les seuls éléments qui contribuent à garantir la qualité des colis à stocker. Des actions de surveillance sont réalisées chez les producteurs de déchets par l'Andra en tant qu'exploitant de la future installation de stockage. En complément, sur le centre de stockage Cigéo, des contrôles, non systématiques mais approfondis sont effectués sur des colis prélevés par sondage.



Figure 3-13 Exemple illustratif d'une opération de contrôle d'un emballage de transport menées sur une installation nucléaire

3.2.3 La zone descenderie

3.2.3.1 La présentation générale de la zone descenderie

La zone descenderie (ZD), d'une surface totale de 296 ha, dont 269 ha de surface remaniée, est principalement dédiée à l'exploitation du process nucléaire en comprenant les étapes de réception, contrôle et préparation des colis de déchets radioactifs avant leur transfert pour stockage dans l'installation souterraine.

Cette zone est implantée sur les communes définies au tableau suivant :

Tableau 3-5 Communes d'implantation de la zone descenderie

Département	Commune	Zone du centre de stockage Cigéo
Meuse (55)	Bure	Zone descenderie
Haute-Marne (52)	Gillaumé	Zone descenderie
	Saudron	Zone descenderie

Elle comprend l'ensemble des surfaces accueillant les bâtiments, ouvrages, équipements et aménagements paysagers de la zone descenderie (cf. Figure 3-14), à savoir :

- une zone dédiée à l'exploitation du process nucléaire accueillant les installations permettant d'assurer l'ensemble des opérations nécessaires à la prise en charge des colis de déchets radioactifs, depuis leur réception, jusqu'à leur transfert vers les infrastructures souterraines de stockage, dont :
  - ✓ le terminal ferroviaire nucléaire (TF INB) accueillant les colis de déchets radioactifs ;
  - ✓ le bâtiment nucléaire de surface (EP1, complété à terme par ETH et EP2) accueillant les installations nucléaires servant à la réception, au contrôle et à la préparation des colis de déchets avant leur descente dans les ouvrages souterrains *via* la tête de descenderie colis (TDC) ;
  - ✓ les installations support comprenant (liste non exhaustive) :
    - la tête de descenderie de service (TDS) ;
    - le s bâtiment sûreté/sécurité/environnement et postes de garde associés ;
    - la centrale électrique de secours (alimentation normale et secours) ;
    - la station de traitement des effluents liquides ;
    - les bassins de gestion des eaux ;
- une zone dite administrative accueillant :
  - ✓ les bâtiments administratifs pour l'ensemble du centre de stockage ;
  - ✓ le centre de formation du personnel et d'essais des équipements du centre de stockage Cigéo ;
  - ✓ le restaurant d'entreprise ;
  - ✓ l'atelier de maintenance conventionnelle de surface ;
  - ✓ l'aire de distribution du carburant pour les véhicules légers ;
- une zone dédiée à l'accueil du public, regroupant en particulier un bâtiment d'accueil du public et un bâtiment dédié notamment 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 destinée aux installations du terminal ferroviaire fret.

Afin de couvrir une partie des besoins des mesures de compensation environnementale localisées à ses abords directs, elle intègre une bande d'environ 24 hectares de milieux agricoles (zone dite abords de la zone descenderie).

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.

Les ouvrages de cette zone sont intégrés dans des clôtures permettant d'en contrôler les accès et de leur apporter le niveau de protection approprié. L'accès à cette zone s'effectue par l'est à proximité du rond-point de la route départementale D60/960.

La figure 3-14 issue de la « Pièce 5 – Plans détaillés de l'installation à l'échelle ½ 500e » de la DAC présente l'organisation générale de la zone descenderie (217).

Les installations et ouvrages de surface de la zone descenderie sont présentées dans les chapitres qui suivent.

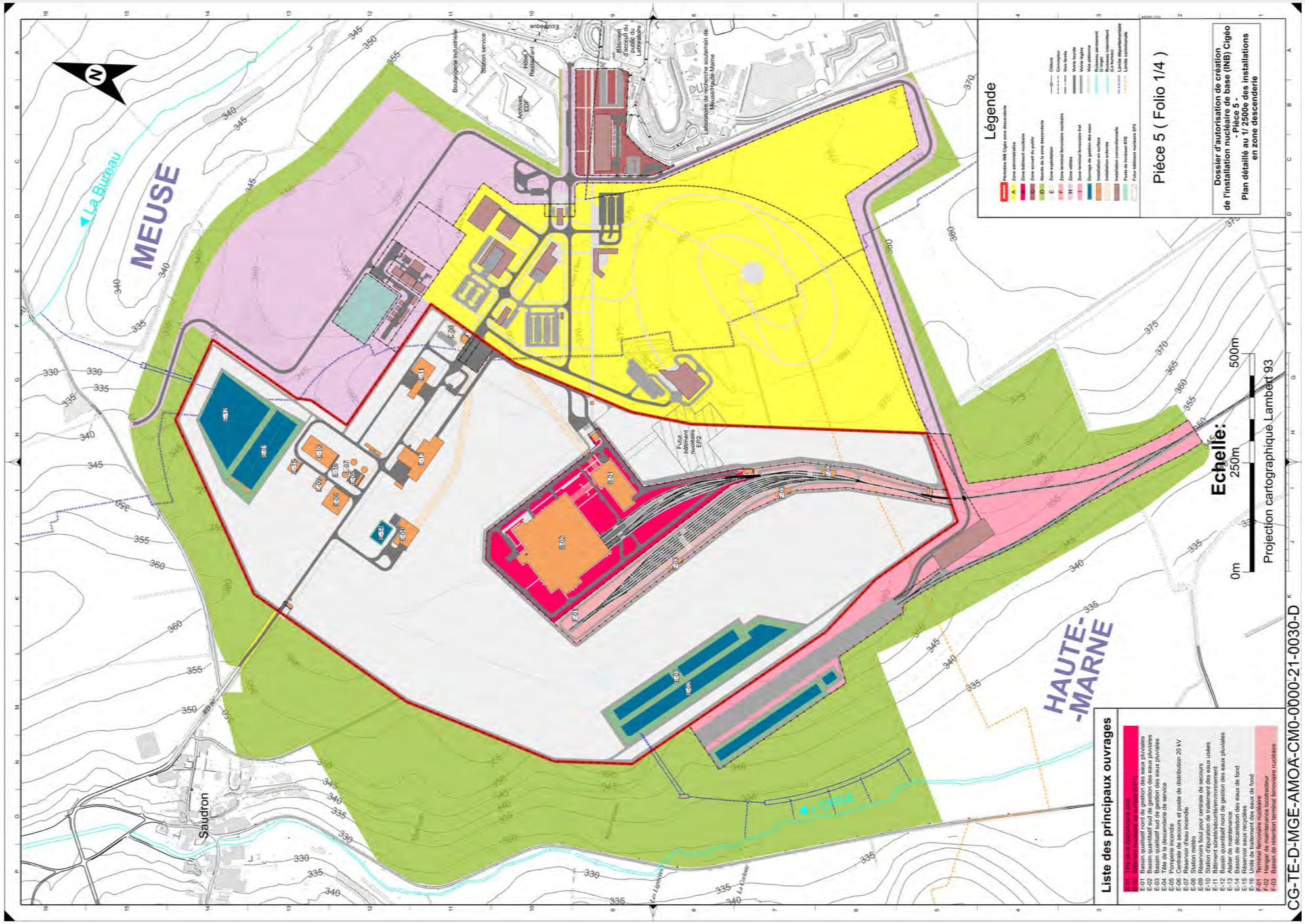


Figure 3-14 Organisation générale de la zone descenderie

3.2.3.2 Les installations de surface de la zone exploitation de la zone descenderie

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone descenderie (ZD)

Les installations et ouvrages de la zone exploitation de la zone descenderie permettent d'assurer l'ensemble des opérations nécessaires à l'exploitation du process nucléaire, en incluant la prise en charge des colis de déchets radioactifs, depuis leur réception, jusqu'à leur transfert vers les infrastructures souterraines de stockage. Leur zone d'implantation est précisée sur la figure 3-15.

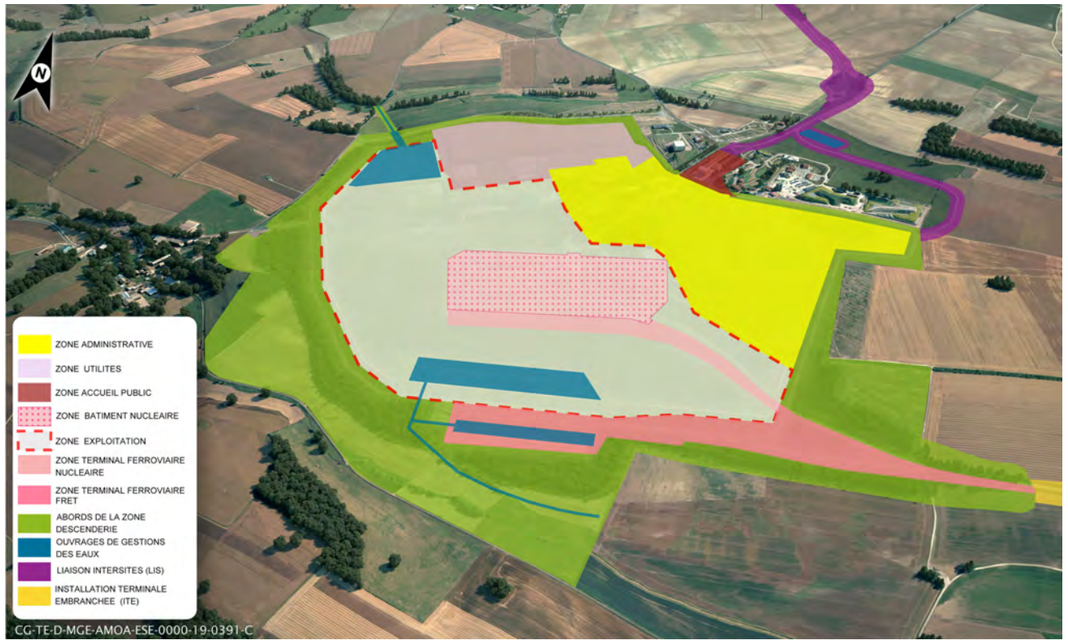


Figure 3-15 Localisation des installations liées à la zone exploitation de la zone descenderie

3.2.3.2.1 Les bâtiments et ouvrages nucléaires de surface de l'INB

Les bâtiments et ouvrages nucléaires de l'INB en zone descenderie sont décrits ci-après ; il s'agit :

- du terminal ferroviaire nucléaire dite TFN ;
- du bâtiment nucléaire de surface « exploitation phase 1 » dit EP1 ;
- de la tête de la descenderie colis dite TDC ;
- de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal dit ETH ;
- le bâtiment nucléaire de surface « exploitation phase 2 » dit EP2.

Ces bâtiments et ouvrages sont représentés sur la figure 3-16 et la figure 3-17.

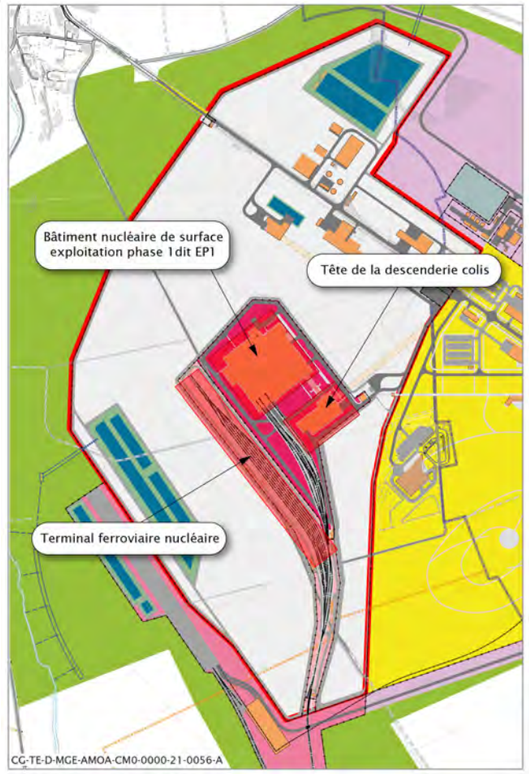


Figure 3-16 Localisation des ouvrages nucléaires en zone descenderie – TFN, EP1 et TDC

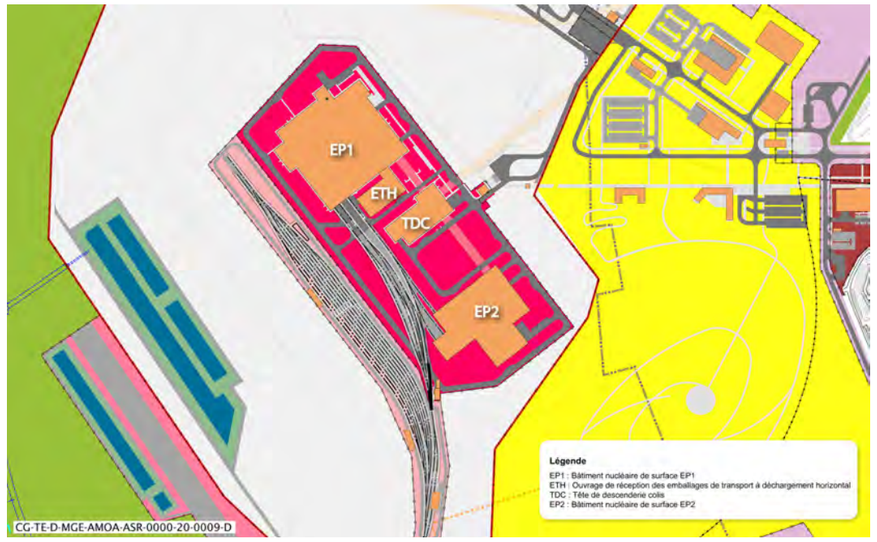


Figure 3-17 Localisation des ouvrages nucléaires en zone descenderie – ETH et EP2

a) Le terminal ferroviaire nucléaire

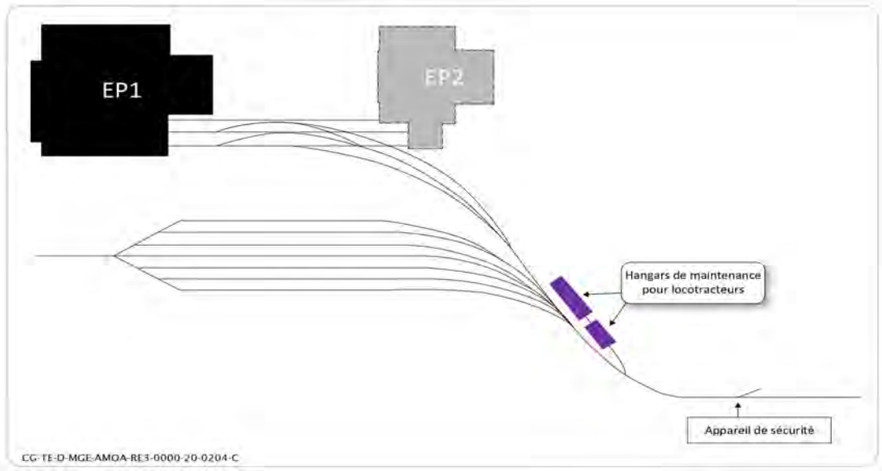


Figure 3-18 Schéma fonctionnel du terminal ferroviaire nucléaire

Le terminal ferroviaire nucléaire accueille également un hangar de maintenance locotracteur. Ce hangar dimensionné pour recevoir deux locotracteurs, permet la maintenance des locotracteurs et la recharge de leurs batteries.

La conception du terminal ferroviaire nucléaire et de ses différentes composantes intègre les principes ci-dessous :

- le terminal ferroviaire permet de collecter les écoulements superficiels et de gérer le confinement d'une pollution accidentelle. Deux bassins de confinement sont prévus à cet effet ;

le terminal ferroviaire est dimensionné pour accueillir, réceptionner et entreposer les emballages de transport contenant les déchets en attente de gestion par le bâtiment nucléaire de surface EP1.

b) Le bâtiment nucléaire de surface EP1

Localisation

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 de la zone descenderie est localisé sur la figure 3-16 en page 176 et la figure 3-16 en page 177.

Activités

Les opérations effectuées dans le bâtiment nucléaire de surface EP1 vont de la réception des wagons ou camions jusqu'à la mise à disposition des hottes chargées au niveau de la tête de descenderie colis pour permettre leur transfert vers les ouvrages souterrains *via* la descenderie colis ; les principales sont listées ci-après.

Certaines opérations sont mises en œuvre pour pouvoir stocker les colis de déchets radioactifs :

- mettre les colis de déchets reçus en stockage :
  - ✓ opérations sur les emballages de transport :
    - accueillir les wagons ou camions ;
    - prendre en charge les emballages (plein et vide) ;
    - préparer l'emballage (plein et vide) en vue de son déchargement ou de son retour producteur ;
    - renvoyer les wagons ou camions ;
    - renvoyer les wagons ou camions non conformes ;
  - ✓ opérations sur les colis primaires :
    - décharger les colis primaires des emballages de transport ;
    - identifier les colis primaires déchargés et les gérer en base informatique ;
    - contrôler la conformité des colis primaires réceptionnés ;
    - gérer les non conformités (administratives, liées à un écart de déclaration, liées à une contamination) ;
    - mettre les colis primaires en conteneurs, en paniers ou sur palette suivant les cas ;
    - assurer le suivi de gestion des colis primaires dans leurs conteneurs ou paniers respectifs pendant l'ensemble des phases de vie des colis ;
    - dans e cas où ces contrôles seraient nécessaires, réaliser les contrôles par prélèvement (hors flux) sur les colis primaires et les colis de stockage ;
  - ✓ opérations sur les colis de stockage :
    - assurer la mise en conteneur de stockage, ou en panier, ou sur palettes en stockage direct des colis primaires réceptionnés et contrôler leur conformité ;
    - traiter les non conformités des conteneurs et paniers de stockage ;
    - assurer la gestion informatique en base de l'ensemble des données relatives aux conteneurs et paniers de stockage ;
    - charger les conteneurs et paniers en hotte ;
    - décharger les conteneurs et paniers d'une hotte vers la cellule pour les cas de retrait (ou réversibilité) ;
    - transférer les hottes jusqu'à la tête de descenderie et inversement ;
- accueillir les entrants nécessaires à la mise en stockage :
  - ✓ opérations sur les wagons de transport de matériel :
    - réceptionner les entrants : conteneurs, palettes, cloches, nacelles, paniers de stockage, paniers de manutention et plateaux ;
    - contrôler la conformité des entrants ;
  - ✓ mise à disposition des supports aux opérations de préparation des colis et de leur transfert dans l'ensemble des locaux du bâtiment nucléaire EP1 :
    - mettre à disposition les plateaux vides ;
    - décharger les matériels et consommables en provenance de l'extérieur ;
    - assurer l'acheminement des matériels et consommables vers les process (opérations menées sur les colis) ;
    - assurer l'entreposage tampon des matériels et consommables ;
    - permettre la maintenance des équipements process et des moyens de soutien ;
    - permettre le retour des palettes vides après mise en hotte des colis de stockage ;
    - permettre le séchage et l'entreposage des échantillons de clavage dans les installations.

D'autres opérations sont mises en œuvre pour pouvoir gérer les déchets et les effluents induits (conventionnels et nucléaires) :

- recueillir les déchets et les effluents générés au sein de l'INB :
  - ✓ gérer et caractériser les déchets induits et leurs contenants ;
  - ✓ gérer les déchets nucléaires :
    - trier et conditionner les déchets produit dans le bâtiment nucléaire de surface EP1 ;
    - trier et conditionner les déchets nucléaires remontés depuis les ouvrages souterrains ;
- gérer les déchets conventionnels :
  - ✓ collecter et caractériser les déchets induits liquides et permettre leur traitement vers une filière ;
  - ✓ collecter et trier les déchets conventionnels et permettre leur traitement vers une filière.

Description

Description des niveaux de la zone conventionnelle d'accueil

La zone conventionnelle d'accueil est localisée au nord-ouest du bâtiment EP1. Elle comprend quatre niveaux : deux niveaux enterrés (+0,00/358 NGF et +6,20 mètres/+364,20 NGF) et deux niveaux de surface (+12,20 m/372,20 NGF et +17,00 m/375,00 NGF).

L'entrée du personnel d'exploitation se fait par la zone d'accueil au niveau +12,20 mètres. En dehors des locaux de réception, de sécurité et d'accueil, ce niveau comprend également les sanitaires, la lingerie et les vestiaires.

Pour ce qui concerne les niveaux inférieurs, le niveau +6,20 mètres comprend principalement la salle de conduite. C'est à ce niveau que se fait l'accès du personnel d'exploitation vers la zone contrôlée. Le niveau +0,00 mètre comprend des locaux de courant faible industriel.

Le niveau supérieur +17,00 mètres au-dessus du niveau plain-pied comprend la partie bureaux, salles de réunions et ventilation conventionnelle.

Description des niveaux du bâtiment nucléaire

Le bâtiment nucléaire de surface (hors zone conventionnelle d'accueil) est constitué de cinq niveaux principaux : un niveau enterré (niv -11,10 mètres), deux niveaux dont la pente naturelle du terrain génère un niveau de surface enterré au nord des installations et semi enterré au sud (niveaux 0,00 m et +6,20 m) et deux niveaux en surface sur l'ensemble du bâtiment (+12,20 m et +18,00 m). L'entrée dans le bâtiment se fait de plain-pied au niveau +12,20 par la zone conventionnelle d'accueil.

Le niveau inférieur (niv. -11,10 m/346,9 NGF) est une excroissance sous le bâtiment permettant la circulation des emballages de transport à la verticale.

Le niveau (niv 0,00 m/358,0 NGF) correspond au plain-pied côté terminal ferroviaire. Ce niveau comprend principalement les opérations de préparation, transfert et contrôles des colis. L'ouvrage de liaison entre le bâtiment EP1 et la tête de descenderie qui permet de cheminement des hottes est localisé au nord de l'installation et se trouve enterré.

Le niveau (+6,20 m/364,2 NGF) prolonge la hauteur les cellules process du niveau 0,00 pour la circulation des ponts roulants de manutention. C'est donc à ce niveau que se fait l'accès à la zone arrière des ponts roulants pour leur maintenance.

Le niveau (niv +12,20/372,20 NGF) abrite la majorité des locaux supports au process ainsi que les sur-cellules. Ces dernières sont des cellules localisées à l'aplomb des cellules de process qui permettent des opérations de maintenance.

L'étage supérieur principal se situe à (niv +18.00/378 NGF), il comprend la toiture et les accès aux prises d'air neuf. Ce niveau est variable (compris entre 348 et 385 NGF).

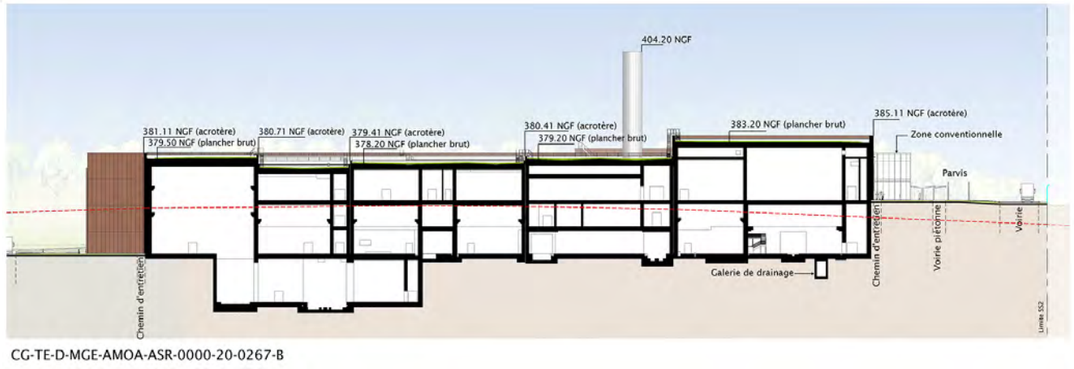


Figure 3-19 *Vue en coupe longitudinale du bâtiment nucléaire de surface EP1 dans le sens sud/nord*

Niveau -11,10 m

Les principales zones fonctionnelles de ce niveau sont les suivantes (cf. Figure 3-20) :

Rep n° 1 : zone de fosse pour la préparation et l'accostage des emballages de transports ;
Rep n° 2 : zones de maintenance du transbordeur et des chariots dédiés.

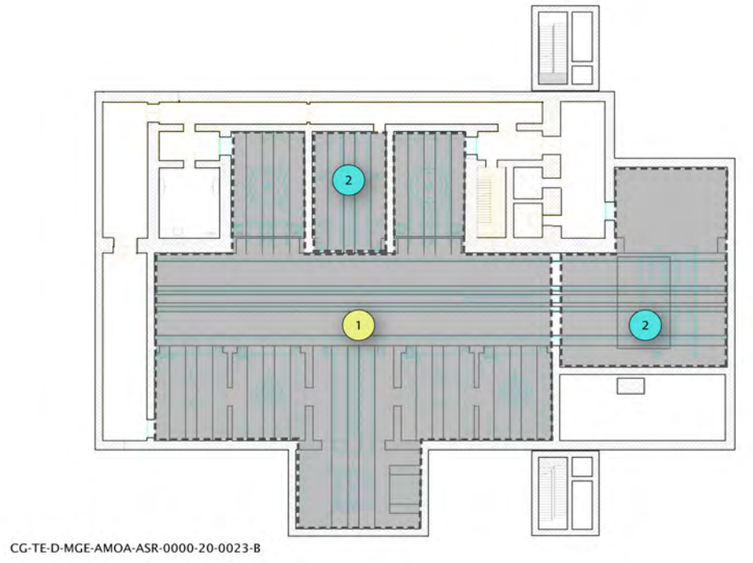


Figure 3-20 *Bâtiment nucléaire de surface EP1 - Niveau -11,10 mètres*

Niveau ±0,00 mètre

Ce niveau abrite la majorité du process lié à la préparation et au contrôle des colis. À l'exception du transfert des emballages, ce niveau permet l'ensemble des transferts horizontaux des colis dans l'installation avec des dispositifs de chariots sur rail pouvant être associés à des chariot transbordeurs.

c) La tête de descenderie colis

Localisation

La descenderie colis (cf. Chapitre 3.2.5.2.1 du présent volume) est dédiée au transfert des colis (dans leur hotte de transfert) depuis EP1 jusqu'à la zone de stockage souterraine. Elle possède sa propre émergence en surface dans la zone exploitation de la zone descenderie dénommée « tête de la descenderie colis ». Elle est reliée, en souterrain, à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE).

La tête de descenderie de l'installation nucléaire de surface de la zone descenderie est localisé sur la figure 3-16 en page 177. Comme le montre la figure 3-21, elle est localisée à l'est du bâtiment EP1 et est raccordée au process du bâtiment EP1 par une galerie de liaison souterraine.

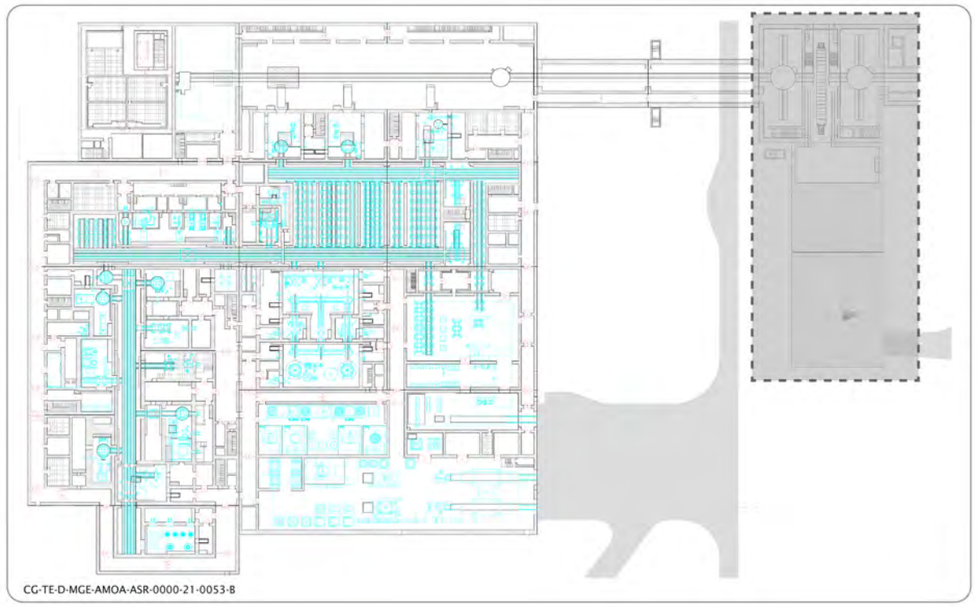


Figure 3-21 Localisation de la tête de descenderie

Activités

La tête de descenderie colis permet :

- le chargement et le déchargement des hottes sur le funiculaire ;
- la maintenance du véhicule funiculaire ;
- l'accueil de la machinerie du funiculaire ;
- la réception des hottes, matériels, équipements de maintenance et consommables nécessaires pour l'exploitation ;
- l'extraction d'air de la descenderie colis.

Description

La tête de descenderie est un ouvrage semi-enterré constitué de blocs de génie civil juxtaposés qui composent l'ouvrage (cf. Figure 3-22) :

- 3 blocs de génie civil à l'ouest, sur deux niveaux, plus un vide pour la coque avion à l'aplomb du bloc de la gare haute du funiculaire ;
- 3 blocs de génie civil à l'est, sur trois niveaux.

L'ouvrage de liaison du bâtiment nucléaire de surface relie le bâtiment nucléaire de surface EP1 jusqu'à l'ouest de la gare haute du funiculaire. Un ouvrage de liaison de petite dimension à l'est de la gare haute est construit pour permettre le raccordement en tranche ultérieure au bâtiment nucléaire de surface EP2.

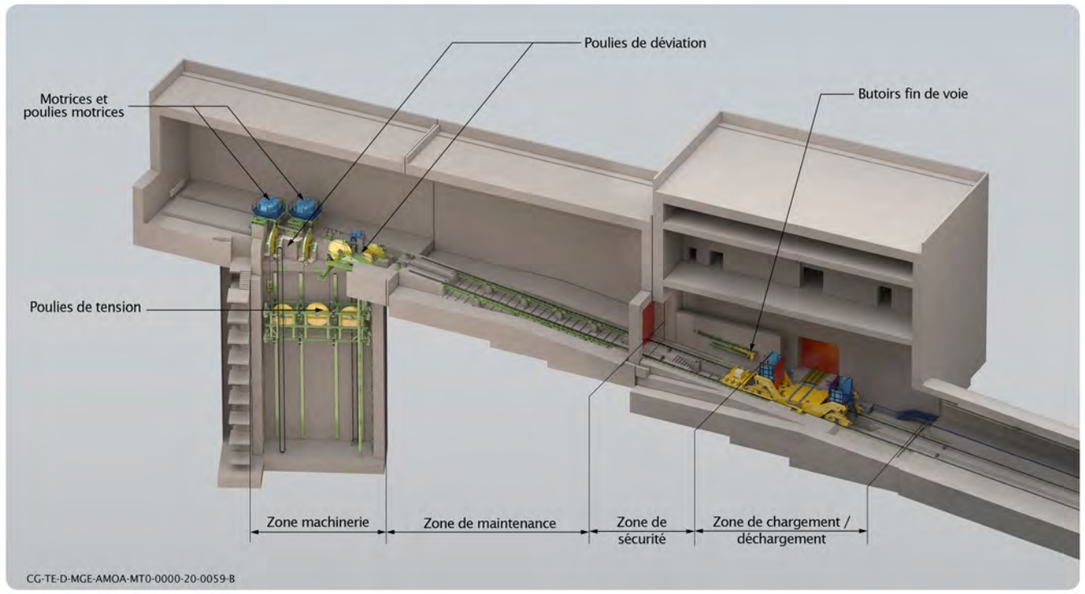


Figure 3-22 Illustration en coupe de la tête de descenderie du funiculaire

d) L'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH) et le bâtiment nucléaire de surface EP2

La zone exploitation de la zone descenderie accueillera également, l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal, dit ETH, puis le bâtiment nucléaire de surface « exploitation phase 2 », dit EP2. Ces ouvrages dont la mise en service sera ultérieure à celle des ouvrages précités ne sont pas décrit en détail dans le présent chapitre ; ils sont présentés succinctement ci-après.

Les bâtiments nucléaires de surface ETH et EP2 sont destinés à recevoir respectivement :

- les colis primaires de moyenne activité MA-VL spécifiquement réceptionnés en emballages de transport à déchargement horizontal (ET-H) ;
- les colis primaires de haute activité HA stockés dans le quartier de stockage HA.

Le bâtiment de réception des emballages à déchargement horizontal ETH

Le bâtiment de réception des emballages à déchargement horizontal ETH est un ouvrage qui sera raccordé au bâtiment nucléaire de surface en vue de la mise en service des tranches ultérieures de l'INB. L'objectif principal de cet ouvrage est de permettre la réception d'emballages à déchargement horizontal.

Le bâtiment EP1 a été étudié dès l'origine dans l'objectif de permettre la jonction d'un ouvrage construit en tranche ultérieure. Cela se concrétise par la possibilité de raccorder le bâtiment ETH à EP1 par un tunnel de transfert, positionné afin d'assurer la mutualisation d'un transbordeur EP1 vers ETH, assurant ainsi une continuité de la manutention entre les deux ouvrages. Par ailleurs le tunnel de transfert permet également l'extension de certains réseaux depuis EP1 (électricité de puissance, contrôle commande et conduite, fluides). Les accès du personnel se font également à partir d'EP1. Ces dispositions concourent à mutualiser au maximum les ressources disponibles sur EP1.

Localisation du bâtiment ETH

Les fonctionnalités du bâtiment ETH sont identiques à celles du bâtiment nucléaire de surface EP1.

Les principales fonctions d'exploitation du bâtiment ETH sont :

- la réception de wagons contenant des emballages de transport à déchargement horizontal ;
- le déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal ;
- le déchargement des colis primaires issus d'emballages à déchargement horizontal ;
- le contrôle des colis primaires en ligne issus des emballages à déchargement horizontal ;
- le transfert sur palettes des colis primaires vers le bâtiment nucléaire de surface EP1.

Le bâtiment nucléaire de surface EP2

Cet ouvrage est construit ultérieurement à la mise en service de la phase industrielle pilote en vue d'une mise en service à l'horizon 2080. L'objectif principal de cet ouvrage est de permettre la réception des colis de haute activité, notamment les colis HA1 et HA2, ainsi que certains colis MA-VL vitrifiés stockés dans le quartier de stockage HA.

Le bâtiment nucléaire de surface EP2 est raccordé aux installations existantes par une jonction à l'est de la tête de descenderie, laquelle comprend des dispositions constructives afin de faciliter le raccordement par tunnel. Un embranchement ferré du terminal INB est créé en vue d'orienter les wagons vers le bâtiment EP2.

Les fonctions d'exploitation du bâtiment EP2 sont identiques à celles du bâtiment EP1.

3.2.3.2.2

Les installations de surface en soutien au fonctionnement de l'INB

a) La tête de la descenderie de service

Localisation

La descenderie de service (cf. Chapitre 3.2.5.2.2 du présent volume) est utilisée pour les opérations d'évacuation et de secours ainsi que pour les opérations de maintenance. Elle possède sa propre émergence en surface dans la zone exploitation de la zone descenderie dénommée « tête de la descenderie de service ». Elle est reliée, en souterrain, à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE). Sa localisation est précisée au travers de la figure 3-23.

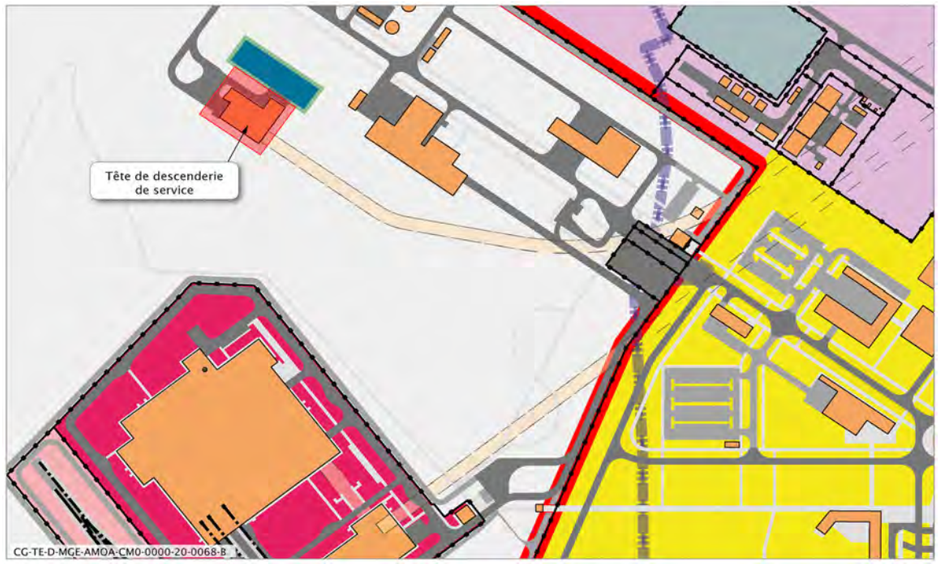


Figure 3-23 Localisation de la tête de la descenderie de service – zone descenderie

Activités

Le bâtiment sûreté/sécurité/environnement (SSE) de la zone descenderie centralise l'ensemble des activités liées à la surveillance et la sécurité, ainsi que les activités opérationnelles (forces d'intervention) pour la zone descenderie en cas de situation accidentelle.

Pour ce périmètre d'activité, ce bâtiment comprend les postes suivants :

- le poste opérationnel d'intervention des forces de sécurité (FdS) ;
- le poste de commandement et de coordination (PCC) permettant la gestion des situations de crise ;
- le poste central de sécurité (PCS) disposant d'un certain nombre d'informations et d'alarmes liées aux fonctions de sûreté et de sécurité du centre de stockage (surveillance des accès et protection physique, radioprotection, surveillance des ouvrages souterrains, surveillance environnement, distribution des utilités, distribution électrique…) ;

  ce poste intègre notamment :
  - ✓ une surveillance des différents accès au centre et contrôles protection physique ;
  - ✓ une supervision centralisée des ensembles fonctionnels de sécurité des personnes ;
  - ✓ une supervision centralisée des informations critiques ;

- ✓ une supervision centralisée du système de sécurité incendie[156] ;
- ✓ un possible pilotage de la ventilation nucléaire en situation accidentelle ;

- le poste centralisé de prévention et de radioprotection avec une supervision des mesures et analyses radiologiques et dosimétriques liées aux activités du site ;
- le poste centralisé de surveillance « observation environnement » (poste OS) assurant la supervision de l'évolution des différents paramètres environnementaux.

Note : La zone descenderie intègre également un poste d'accès à la partie souterraine de l'installation, *via* la tête de descenderie de service.

Description

La tête de descenderie de service est un bâtiment qui comprend (cf. Figure 3-23) :

- une usine de ventilation :
  - ✓ la ventilation de la descenderie service est réalisée en pleine section de manière ascendante. L'usine de ventilation permet d'extraire l'air de l'installation souterraine par la tête de la descenderie de service à l'aide d'un extracteur dédié redondé à 100 % et ce de manière à assurer un secours et à faciliter les opérations de maintenance et de jouvence.
- des vestiaires et une lampisterie :

  le personnel entrant et sortant de la descenderie de service doit effectuer un passage par les vestiaires et la lampisterie pour s'équiper ou se déséquiper de son matériel (casque, lampe, dosimètres…).
- un sas entrée/sortie :

  le sas de gestion des entrées et sorties de la descenderie de service permet d'assurer le contrôle des flux et matériels à destination des ouvrages souterrains ainsi que le contrôle du personnel.



Figure 3-24 Illustration de la perspective de la tête de la descenderie de service

b) Le bâtiment sûreté/sécurité/environnement

Localisation

Le bâtiment sûreté/sécurité/environnement (cf. Figure 3-33) a pour principales fonctions la surveillance globale des installations et le pilotage des moyens opérationnels nécessaires à la gestion des situations d'urgence.

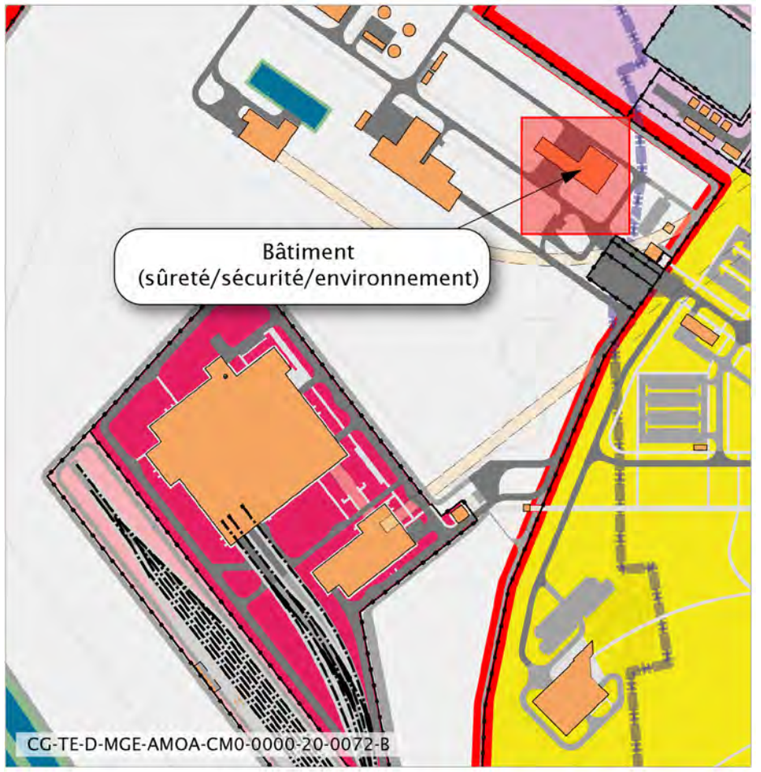


Figure 3-25 Localisation du bâtiment sûreté/sécurité/environnement de la zone descenderie

Activités

Le bâtiment sûreté/sécurité/environnement accueille :

- les forces de sécurité (FdS) qui assurent les fonctions associées à la sécurité des personnes et des biens de type « pompiers » (incendie, secours à victime ou assistance à personne, secours routier, inondation…) ainsi que celles liées à la sécurisation du centre de stockage Cigéo ;
- le personnel dédié à la protection radiologique et surveillance de l'environnement qui assure le contrôle radiologique du personnel et le suivi de l'environnement ;
- le personnel de conduite et d'exploitation du système de sécurité des personnes et des biens qui gère une supervision centralisée depuis le poste central de sécurité (PCS) ;
- le personnel de gestion des situations d'urgence.

[156] Vis-à-vis du risque incendie, des postes sont prévus au niveau des locaux abritant les « centrales incendie » du bâtiment nucléaire de surface EP1 ainsi qu'en partie souterraine. Ces postes sont à action limitée avec un possible contrôle des états de fonctionnement et des alarmes, ainsi que le pilotage en local d'équipement tels que des clapets ou portes coupe-feu situés dans les zones attenantes.

Description

Ce bâtiment comprend le centre opérationnel pour les forces de sécurité (FdS), les locaux dédiés à la surveillance radiologique du personnel et de l'environnement, le poste central de sécurité (PCS) et le poste de commandement et de coordinations (PCC) activé en cas de gestion de situations d'urgence.



Figure 3-26 *Illustration de la perspective du bâtiment Sûreté/Sécurité/environnement de la zone descenderie*

c) Les ouvrages du réseau de lutte contre l'incendie

Localisation

Les ouvrages du réseau de lutte contre l'incendie sont localisés sur la figure 3-27.

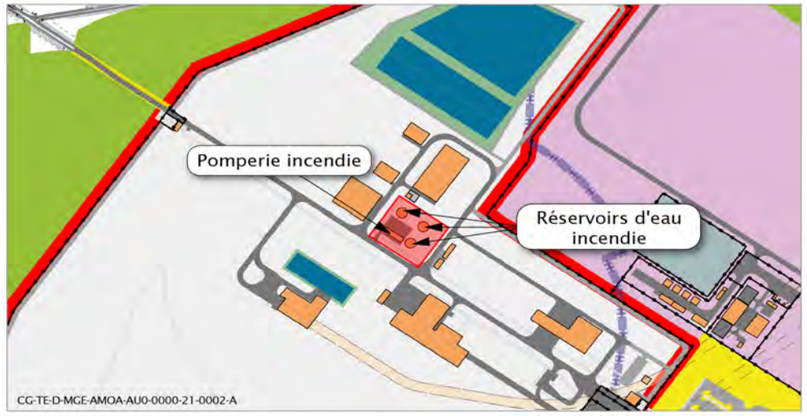


Figure 3-27 *Localisation la pomperie incendie et de ses réservoirs - zone descenderie*

Activités

Les ouvrages du réseau de lutte contre l'incendie permettent d'assurer le stockage et l'alimentation en eau nécessaire à la mise en œuvre des systèmes d'extinction incendie. Ils sont constitués :

- de réservoirs ;
- de pomperies ;
- du réseau de distribution général desservant les ouvrages à protéger.

Description

Trois réservoirs d'eau incendie sont implantés sur la zone. Les réservoirs sont totalement enterrés.

La pomperie incendie comprend trois locaux indépendants reliés chacun à un réservoir incendie.

d) La centrale de secours

Localisation

Une centrale électrique de secours est implantée sur la zone ; elle est localisée sur la figure 3-28.

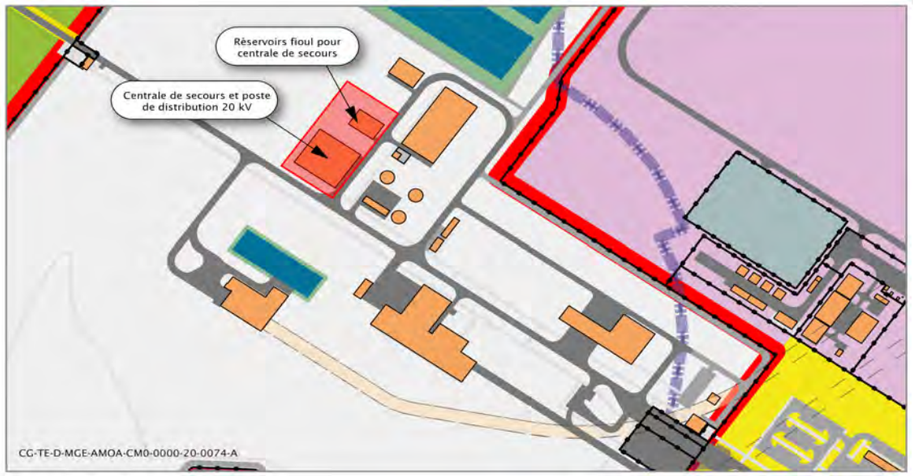


Figure 3-28 *Localisation de la centrale de secours et de ses réservoirs fioul en zone descenderie*

Activités

La centrale de secours permet de fournir une alimentation électrique des équipements importants comme les équipements de ventilation des ouvrages souterrains par ailleurs décrits.

Description

La centrale de secours est composée de plusieurs groupes électrogènes, utilisés simultanément ou non selon les besoins en énergie secourue évoluant graduellement en fonction du déploiement incrémental des installations (mise en exploitation des tranches successives). Elle est accompagnée également de cuves de fioul enterrées munies de bornes de dépotage.

e) L'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine

Activités

La conception de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo intègre les caractéristiques hydrogéologiques de la zone d'implantation, notamment la présence d'une nappe d'eau souterraine au niveau des calcaires du Barrois.

Un ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine, de type paroi étanche, vient renforcer la protection des installations nucléaires de surface du centre de stockage. Ce dispositif permet de protéger notamment le terminal ferroviaire nucléaire et le bâtiment nucléaire de surface EP1 d'une remontée de la nappe phréatique.

La conception de ce dispositif sera approfondie dans le cadre des actualisations ultérieures de l'étude d'impact, afin d'identifier des pistes d'optimisation permettant de réduire ses incidences sur l'environnement, notamment renforcer la transparence hydraulique.

Description

L'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine, de type paroi étanche, est « ancré » dans la couche imperméable située sous les calcaires du Barrois. Il présente une profondeur moyenne d'environ 18 mètres.

Le principe retenu à ce stade des études est robuste est passif vis-à-vis du rabattement de la nappe.

Afin de réduire le rabattement de la nappe occasionné en aval hydraulique de cet ouvrage, des drains de gestion des eaux souterraines y sont associés pour permettre leur ré-infiltration dans le milieu naturel. Ils sont composés des éléments suivants :

- des drains de rabattement extérieurs :
  - ✓ ils permettent :
    - de canaliser et de réorienter les eaux pour une ré-infiltration en aval des ouvrages à protéger ;
    - de limiter l'effet barrage engendré par les remontées de la nappe phréatique ;
- des drains intérieurs permettant de gérer les eaux météoriques qui s'infiltrent dans l'emprise de l'ouvrage ainsi que les eaux issues de la porosité de ses parements ;
- des tranchées drainantes de diffusion permettant la ré-infiltration de l'intégralité des eaux drainées à l'extérieur et à l'intérieur de l'ouvrage dans l'aquifère tout en respectant les bassins versants de l'Orge et de La Bureau.

Des piézomètres permettent de surveiller le niveau de la nappe au niveau de l'ouvrage.

f) Les ouvrages de gestion des eaux et de traitement des effluents liquides conventionnels

La zone exploitation accueille également les ouvrages de gestion et de traitement des eaux et effluents conventionnels de la zone descenderie. Les principes de gestion des eaux pluviales et des effluents provenant de cette zone ainsi que les dispositifs de traitement des effluents liquides conventionnels mis en œuvre sont présentés succinctement au chapitre 6.2.3 du présent volume ainsi que de manière détaillée dans le chapitre 5 du volume IV de la présente étude d'impact.

g) L'atelier de maintenance

Localisation

La localisation de l'atelier de maintenance est présentée sur la figure 3-29.

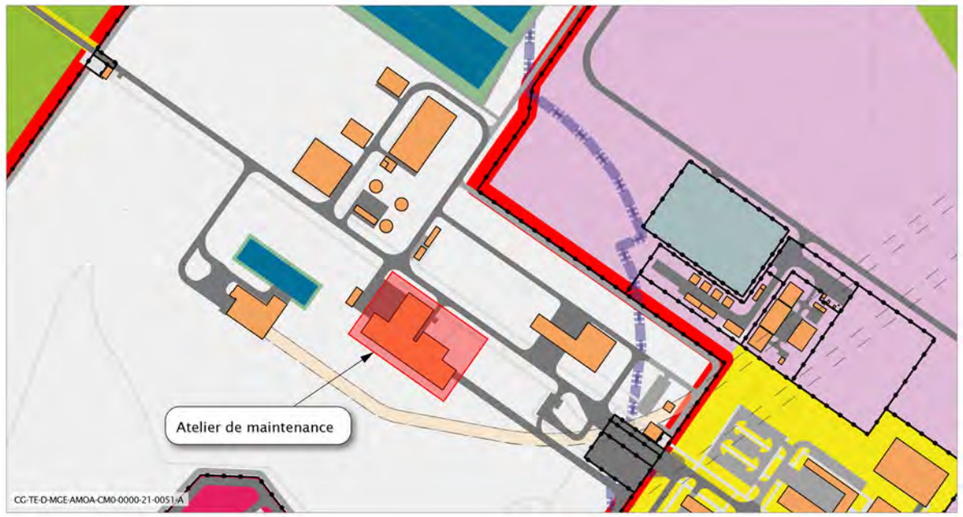


Figure 3-29 Localisation de l'atelier de maintenance de la zone descenderie

Activités

L'atelier de maintenance permet :

- la maintenance et le stockage de pièces de rechange nécessaires à l'exploitation ;
- le montage et les tests/contrôles des équipements les plus volumineux du procédé nucléaire.

Description

L'atelier de maintenance de la zone exploitation de la zone descenderie est situé dans un bâtiment qui comprend (cf. Figure 3-30) :

- un atelier et un magasin ;
- des halls de montage et de test/contrôle des équipements du procédé nucléaire ;
- des locaux communs (vestiaires/douches, bureaux, salle de réunion).

En complément, un ouvrage de transit et de contrôle des déchets induits conventionnels et positionné sur les aires extérieures de ce bâtiment.

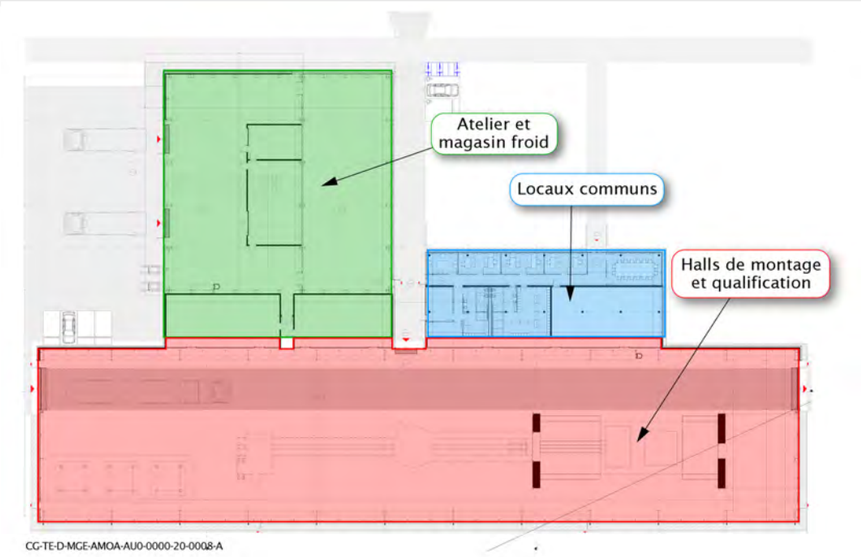


Figure 3-30 Illustration e l'atelier de maintenance de la zone exploitation de la zone descenderie

3.2.3.3 Les installations de la zone administrative de la zone descenderie

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone descenderie (ZD)

Ces installations participent au bon fonctionnement des activités administratives de l'ensemble du centre de stockage Cigéo ainsi que des activités liées à l'exploitation et à la maintenance de la zone descenderie. Leur zone d'implantation est précisée sur la Figure 3-31.

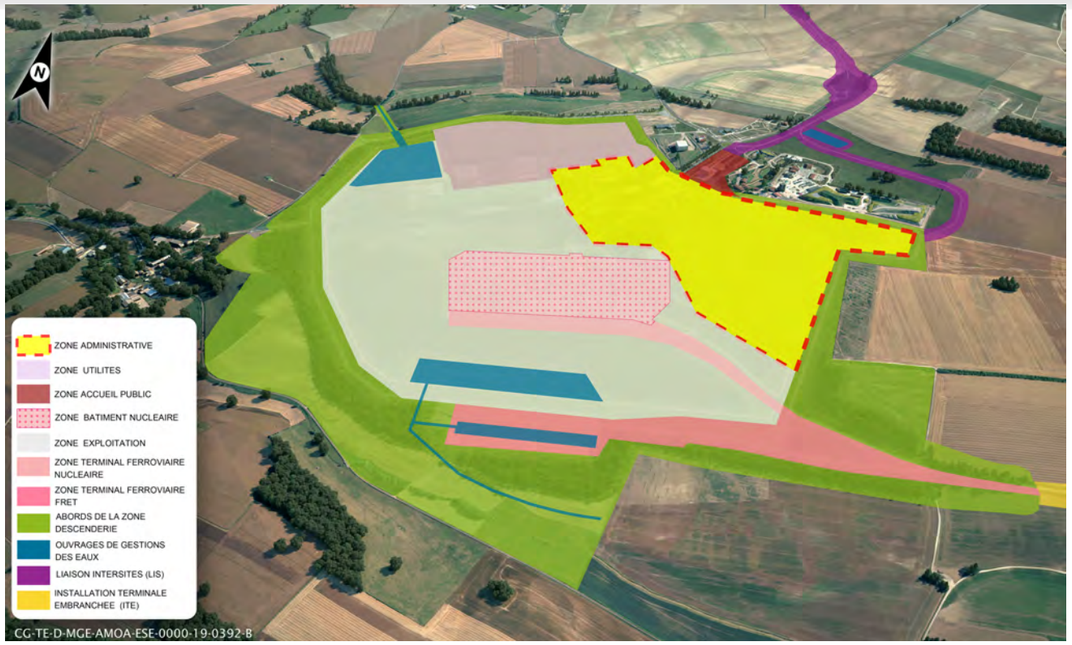


Figure 3-31 *Localisation des installations liées à la zone administrative de la zone descenderie*

3.2.3.3.1 Le bâtiment tertiaire

Le bâtiment tertiaire regroupe les services administratifs communs aux deux sites du centre de stockage. Ce bâtiment, composé de cinq niveaux, permet de fait de limiter les emprises associées à la zone puits. Il est situé à proximité de l'entrée du site.

3.2.3.3.2 Le centre de formation du personnel et d'essais des équipements

Le centre de formation du personnel et d'essais des équipements s'intègre dans les locaux de l'Espace technologique existant (ouvert au public par l'Andra en juin 2009). Il permet la formation du personnel exploitant (télémanipulation, pilotage de caméras…) ainsi que les tests, qualifications et développements des automates nécessaires à l'exploitation.

3.2.3.3.3 Le restaurant d'entreprise

La zone descenderie dispose d'un restaurant d'entreprise principal muni d'une cuisine de production. Cet ouvrage alimente également le restaurant d'entreprise secondaire implanté sur la zone puits.

Il se trouve positionné au centre de cette zone pour en faciliter les accès.

3.2.3.3.4 L'atelier de maintenance conventionnelle de surface

Ce bâtiment, regroupant atelier et magasin, permet la maintenance dite « courante » et le stock principal des pièces de rechanges. Il abrite également les moyens nécessaires à l'entretien des bâtiments, des voiries et des espaces verts.

3.2.3.3.5 L'aire carburant

Cet ouvrage permet le ravitaillement des véhicules légers. Il est constitué d'une aire bétonnée qui accueille, sous auvent, une aire de dépotage alimentant deux cuves enterrées doubles parois d'une capacité unitaire de 10 m³, desservant un dispositif de distribution (essence et gasoil) et équipée d'un séparateur à hydrocarbures.

3.2.3.4 Les installations de la zone d'accueil du public de la zone descenderie

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone descenderie (ZD)

Ces installations regroupent les espaces d'information destinés à l'accueil du public. Leur zone d'implantation est précisée sur la

figure 3-32.

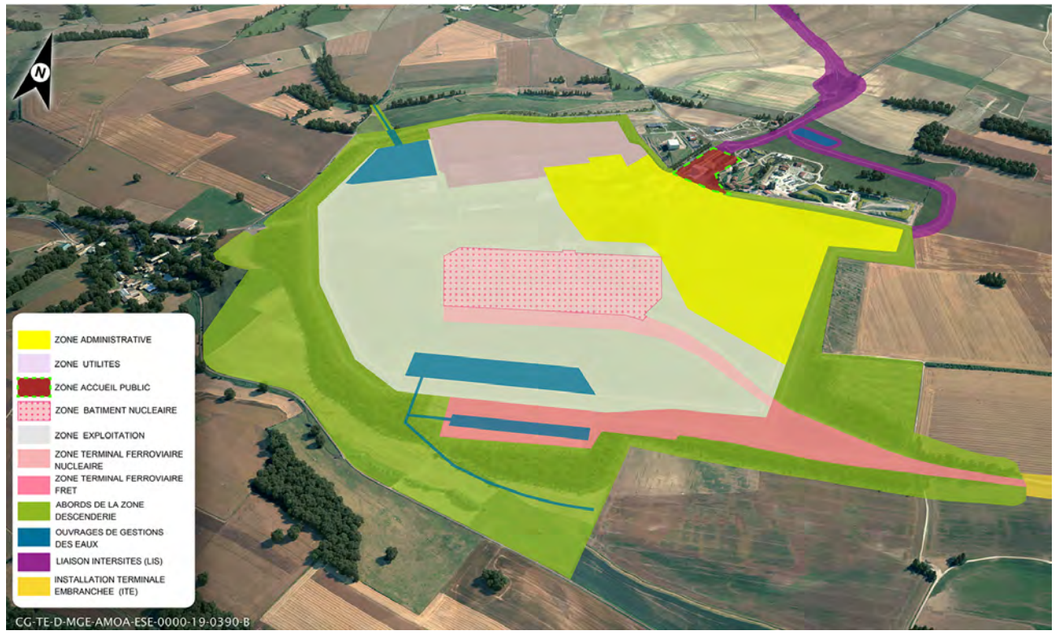


Figure 3-32 *Localisation des installations liées à l'accueil du public*

Le bâtiment d'accueil du public est destiné à recevoir un public composé de visiteurs (riverains, presse…), ainsi que des scientifiques et des professionnels dans un cadre de recherches ou de conférences. Ce bâtiment sert de façon générale à l'information autour du centre de stockage Cigéo (journée porte ouverte, stations pédagogiques…).

Le bâtiment « mémoire » est destiné notamment à la conservation et la consultation des archives historiques et intermédiaires de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), en redondance de sécurité par rapport aux versements également effectués aux archives nationales. Les parties du bâtiment « mémoire » abritant les archives historiques et les dispositifs mémoriels seront conservés le plus longtemps possible après la phase de démantèlement et de fermeture sans limite de durée présagée (*a priori* durant plusieurs centaines d'années), dans le cadre de la phase de surveillance du centre de stockage Cigéo.

Ces installations sont regroupées dans un édifice unique dénommé bâtiment d'accueil du public. Un parking y est associé afin d'accueillir les visiteurs. Il est identifiable depuis le rond-point d'accès au site. L'accès au bâtiment se fait par des allées piétonnes depuis le parc de stationnement visiteurs.

La configuration de ce bâtiment et son intégration dans l'environnement sont présentées dans l'exemple d'illustration de la figure 3-33.



Figure 3-33 Exemple de configuration possible du bâtiment d'accueil du public

3.2.3.5 Les installations de la zone utilités de la zone descenderie

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone descenderie (ZD)

La zone utilités regroupe les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides (eau potable, réseaux de chaleurs, eau « glacée »…) pour la zone descenderie. Leur zone d'implantation est précisée sur la figure 3-34.

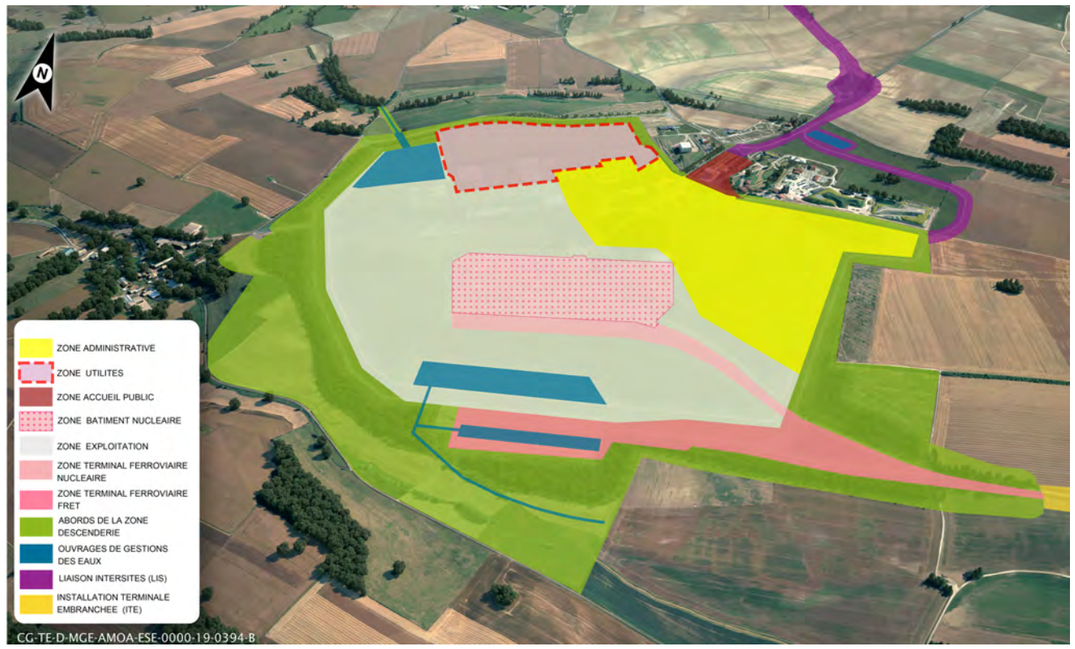


Figure 3-34 Localisation de la zone utilités

3.2.3.5.1 La transformation et distribution électrique

Un poste de transformation et de distribution électrique, implanté sur la zone descenderie, permet d'abaisser la tension de l'électricité fournie par RTE de 90 kV à 20 kV pour alimenter les différentes installations de la zone descenderie.

Un poste de livraison électrique (90 kV), sous responsabilité de RTE, est nécessaire en amont du poste de transformation et de distribution évoqué. Il est également positionné dans la zone utilité de la zone descenderie. Ce poste est alimenté par les installations décrites au chapitre 3.3.1 du présent volume.

3.2.3.5.2 L'alimentation et distribution d'eau potable

L'eau potable arrive sur site *via* une canalisation enterrée. Le point de livraison est situé en bordure de site. L'eau potable est ensuite dirigée vers le réseau site ou vers un réservoir enterré en béton de l'ordre de 150 m³. L'eau potable est ensuite distribuée sur site au moyen de pompes situées dans un local surpresseur.

Cette capacité de stockage d'eau potable pourra éventuellement être revue à la hausse, dans la suite des études, afin de compléter le dispositif permettant de pallier une défaillance éventuelle de l'alimentation en eau du centre de stockage. Il est à noter, que pour les usages d'eau non potable, différents réservoirs de stockage des eaux recyclées sont également prévus pour l'approvisionnement des installations du centre de stockage (cf. Chapitre 6.1.2.1 du présent volume).

3.2.3.5.3 La production de fluides eau chaude et eau glacée

Les bâtiments de production des utilités accueillent les installations qui permettent :

- la production d'eau chaude notamment pour le chauffage des locaux. Cette production se fait à l'aide de chaudières biomasse (chaudière principale) et gaz (chaudières d'appoint en hivers). Des attentes permettant un éventuel raccordement à une canalisation de biogaz venant du territoire ainsi qu'un poste de raccordement à un réseau de chaleur (chambre à vanne) sont envisagées ;
- la production d'eau « glacée » pour le refroidissement de la ventilation. L'évacuation des calories des groupes froids se fait par l'intermédiaire de refroidisseurs à circuit fermé (pas d'interface entre le fluide à refroidir et l'air ambiant) ;
- les sous-stations et équipements électriques nécessaires à la production d'eau chaude pour le chauffage et d'eau glacée pour le refroidissement.

Le bâtiment chaufferie comprend notamment :

- une chaudière bois fournissant au minimum 75 % de l'énergie ;
- deux chaudières gaz d'appoint pour le fonctionnement en hiver ;
- une chaudière gaz de secours ;
- une zone de stockage de bois ;
- une cuve enterrée de stockage de gaz liquéfié ;
- une zone de stockage des résidus de combustion (cendres, fines).

Les principales caractéristiques des installations de la chaufferie de la zone descenderie sont présentées dans le tableau 3-6.

Tableau 3-6Principales caractéristiques des installations de la chaufferie de la zone descenderie

Puissance chaudière bois (MW utile)	1,7
Puissance chaudière gaz 1 (MW utile)	2
Puissance chaudière gaz 2 (MW utile)	1
Puissance chaudière secours gaz (MW utile)	2
Total hors secours (MW utile) (MW PCI)	 4,7 5,3
Total installé (MW utile) (MW PCI)	 6,7 7,4
Stockage bois (m^3)	343
Stockage gaz (m^3)	36
Traitement des fumées	Multi-cyclone + filtre à manche + solution d'urée à 32,5 %
Puissance chaudière bois (MW utile)	1,7
Quantité de cendres sous foyer (t/an)	118,60
Quantité de cendres sous filtre à manche (t/an)	6,2
Hauteur minimale des cheminées (mètres)	11 et 14
Débit pompes (m^3/h)	110
Période d'activité	Du 1er octobre au 31 mai

Les chaudières sont alimentées en eau potable provenant du réseau d'adduction. Un adoucisseur assure ensuite le traitement de l'eau avant introduction dans les chaudières. Le produit de traitement utilisé est stocké sur rétention à proximité de l'adoucisseur et est injecté en fonction des impulsions envoyées par le compteur.

Le schéma de principe du traitement de fumé et des résidus de la chaudière biomasse de la chaufferie de la zone descenderie est présenté en figure 3-35. Le traitement de fumées de combustion de la chaudière bois est un traitement classique des fumées à sec composé d'un multi-cyclone et d'un filtre à manches. Dans l'objectif de réduire les émissions de NOx sous le seuil autorisé, une solution d'urée à 32,5 % est utilisée.

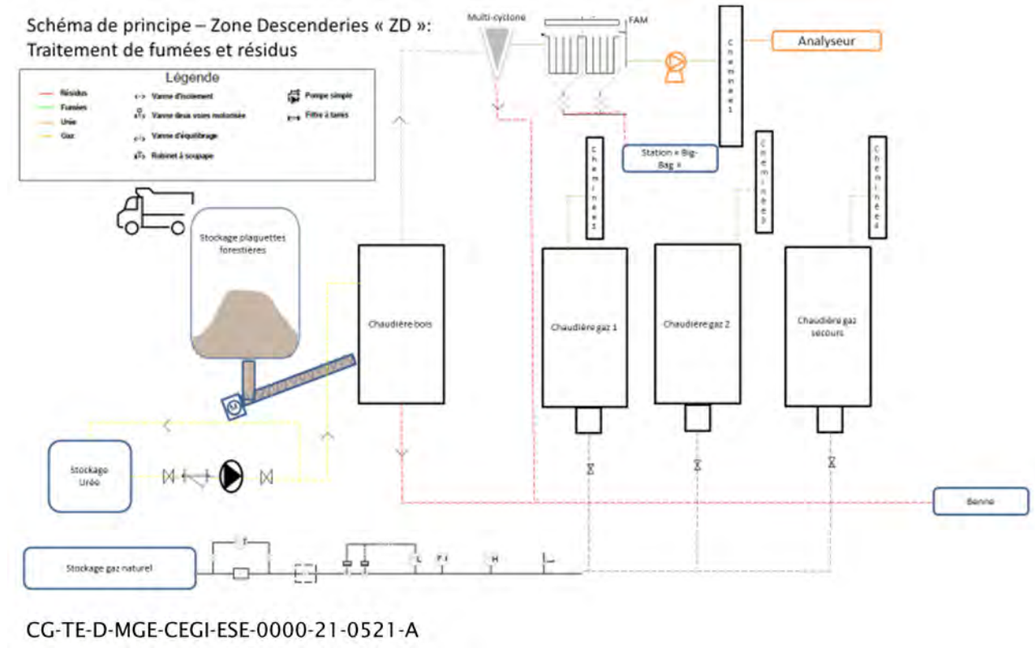


Figure 3-35 Schéma de principe du traitement de fumé et des résidus de la chaudière biomasse de la chaufferie de la zone descenderie

L'évacuation des fumées de combustion de la chaudière bois se fait par une cheminée de 14 mètres, tandis que les trois conduits d'évacuation des chaudières gaz sont regroupés en une cheminée unique haute de 11 mètres (cf. Figure 3-35).

Le bâtiment chaufferie, est haut de 8 mètres, à l'exception du local chaudières gaz qui a une hauteur de 5 mètres (cf. Figure 3-35).

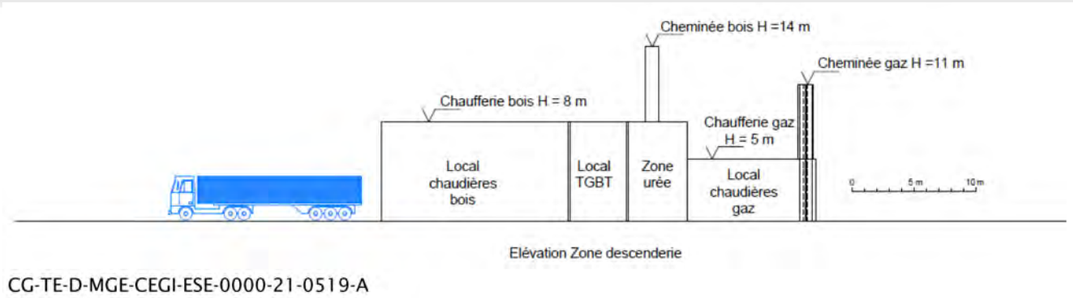


Figure 3-36 Vue en coupe de la chaufferie de la zone descenderie

Le stockage bois de la chaufferie se fait dans une fosse qui se trouve dans le bâtiment chaufferie. Cette fosse de 3 mètres de profondeur est associée à un dispositif d'extraction par fonds racleur (cf. Figure 3-37). Le fond enterré est en béton coupe-feu, au même titre que la partie aérienne. La livraison du bois s'effectue par camions.

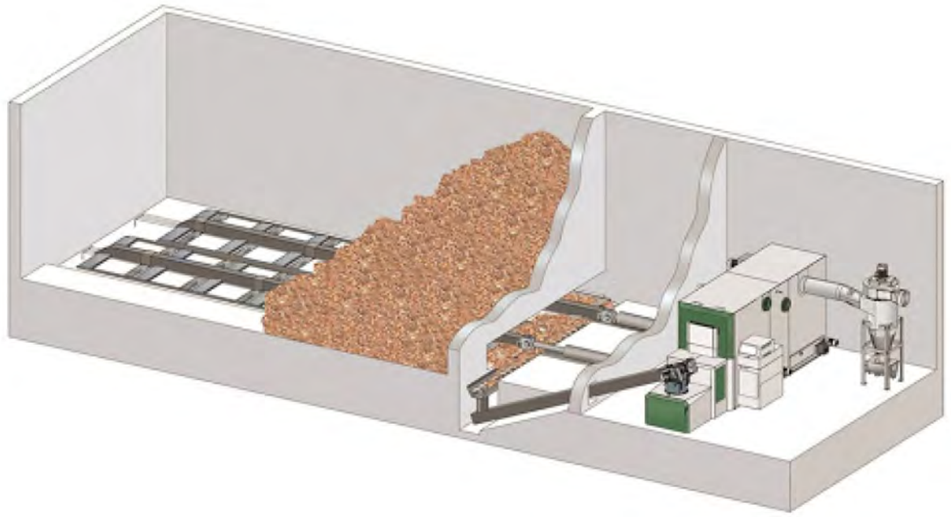


Figure 3-37 Stockage bois en fosse avec extraction par fond racleur

Le stockage du gaz est dimensionné pour une autonomie de 72 heures. Le gaz est stocké dans un réservoir enterré commun aux différentes chaudières gaz de la chaufferie.

Le gaz est stocké sous forme liquéfié, avec une densité de 515 kg/m³ (densité du propane liquide à 15 °C), à une pression de 8 bars et une température de 25 °C. Le gaz est ensuite distribué aux différentes chaudières gaz à une pression de 4 bars (sous forme gazeuse) et une température de 25 °C (température ambiante).

Le gaz sera livré uniquement par camion-citerne d'une capacité de 20 tonnes (pas de conduite de gaz), la zone de dépotage étant située à proximité de la chaufferie.

3.2.3.5.4 La déchetterie industrielle conventionnelle

Cet ouvrage recueille les déchets conventionnels d'exploitation de la zone descenderie.

Il permet la collecte, le tri, le conditionnement, le stockage temporaire et la préparation au transport des déchets conventionnels évacués ensuite vers les filières adaptées.

Il est constitué d'un hangar et d'une plateforme extérieure équipée de différentes bennes qui recueillent les déchets collectés.

3.2.3.6 Les installations du terminal ferroviaire fret de la zone descenderie

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone descenderie (ZD)

Le terminal ferroviaire fret est utilisé pour l'acheminement de matières premières et matériels pour les phases de construction initiale, les travaux de déploiement des installations souterraines, le démantèlement et la fermeture définitive. Ce terminal est construit de fait dès les premières phases de chantier afin de limiter le transit sur les voiries du domaine public.

Ce terminal est desservi *via* l'installation terminale embranchée. Il est implanté au sud de la zone descenderie et du terminal ferroviaire nucléaire d'accueil des colis. Une surface complémentaire est réservée à la gestion du stock tampon des matériaux réceptionnés avant transfert. Leur zone d'implantation est précisée sur la figure 3-38.

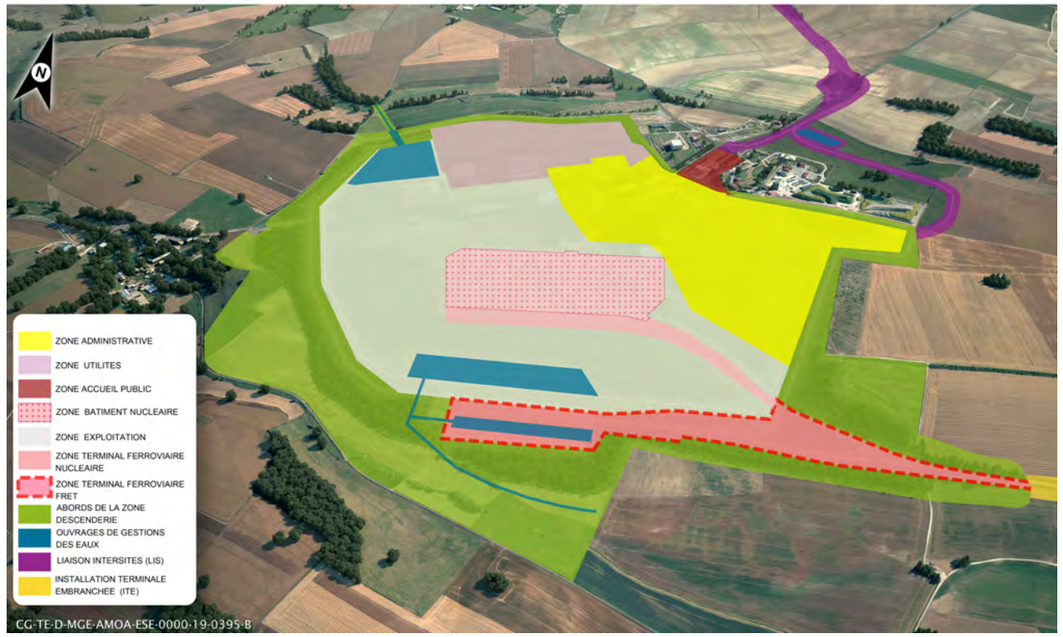


Figure 3-38 Localisation de la zone terminale ferroviaire fret de la zone descenderie

Après déchargement puis stockage temporaire sur cette zone, les transferts des matériels et matériaux sont assurés :

- par des convoyeurs permettant l'acheminement en zone descenderie ainsi que vers la zone puits, *via* la bande transporteuse semi-enterrée de la liaison intersites ;
- par la piste routière poids lourds de la liaison intersites.

3.2.3.7 Les caractéristiques des principaux ouvrages de surface de la zone descenderie

Les caractéristiques des principaux ouvrages de surface de la zone descenderie sont regroupées dans le tableau suivant. Sont également présentés dans ce tableau les surfaces des aires de stationnement ainsi que des voiries et plateformes associées.

Tableau 3-7 Récapitulatif des ouvrages les plus importants de la zone descenderie

Zone concernée	Ouvrages concernés	Dimensionnement approximatif	Surface au sol (m²)
Zone exploitation	**Terminal ferroviaire nucléaire**		≈35 000
	Hangar de maintenance locotracteur		≈500
	Bâtiment nucléaire - Installations nucléaires de préparation des colis pour leur stockage :		
	• Exploitation phase 1 (EP1)	H Variant de 20 mètres à 25 mètres pour les ouvrages et ≈40 mètres pour la cheminée	≈32 000
	• Exploitation phase 2 (EP2)	H Variant de 20 mètres à 25 mètres pour les ouvrages et ≈ 40 mètres pour la cheminée	≈20 000
	Tête de descenderie colis	H ≈25 mètres	≈7 000
	Installations de surface en soutien au fonctionnement :		
	• tête descenderie de service ;	H ≈ 10 mètres	≈2 000
	• bâtiment dédié aux fonctions de sûreté, sécurité et protection de l'environnement ;	H ≈ 15 mètres	≈2 500
	• ensemble de postes de garde.	H ≈ 5 mètres	Quelques centaines de m²/poste
	• Ouvrages amont de la lutte contre l'incendie	H ≈ 4 mètres pour les locaux pomperies	≈1 700
	• Centrale de secours et poste de distribution 20 kV		≈2 200
	• Paroi étanche	Prof. moyenne ≈ 18 mètres	
	• Atelier et magasin support au bâtiment EP1	H ≈ 20 mètres	≈4 600
	Ouvrages de gestions des eaux :	cf. Chapitre 6.2.3.1.7 du présent volume	
Zone administrative	Bâtiment tertiaire	H ≈20 mètres	≈ 1 400
	Centre de formation du personnel et d'essais des équipements	H ≈13,50 mètres	≈ 3 900
	Restaurant d'entreprise	H ≈8 mètres	≈ 2 000
	Atelier de maintenance	H ≈15 mètres	≈ 2 500
	Aire carburant	-	≈ 500
	Bâtiment d'accueil du public	H ≈30 mètres	≈ 4 000
Zone accueil du public	Bâtiment « Mémoire »		
Zone utilités	Poste de livraison électrique RTE (90 KV)	H ≈10 mètres	≈12 000
	Transformation et distribution électrique	H ≈7 mètres	≈1 600
	Ouvrages participants au fonctionnement du réseau d'eau potable	≈150 m³	-
	Bâtiments de production des utilités : • production d'eau chaude ; • production d'eau « glacée » ; • sous-stations et équipements électriques.	H bâtiments variables ≈ de 4 m à 10 m H cheminées variables ≈ de 11 m à 14 m	≈2 600
	Déchetterie industrielle conventionnelle		≈13 000
Zone terminal ferroviaire fret	Terminal ferroviaire fret		≈35 000
	Gestion du stock tampon des matériaux		≈6 500
Aires de stationnement	Réparties sur le site		≈19 000
Voiries et plateformes associées	Réparties sur le site		≈250 000

3.2.4 La zone puits

3.2.4.1 La présentation générale de la zone puits

La zone puits (ZP), d'une surface totale à terme de 202 ha dont 184 ha de surface remaniée, est dédiée principalement aux installations de soutien aux activités souterraines de stockage et de travaux (déploiement progressif des zones de stockage). La Figure 3-39 montre l'organisation de la zone.

Elle est implantée dans la partie sud du bois Lejuc, sur un terrain naturellement incliné vers l'est, vers la vallée de l'Ormançon. Son implantation concerne les communes définies au tableau suivant :

Tableau 3-8 Communes d'implantation de la zone puits

Département	Commune	Zone du centre de stockage Cigéo
Meuse (55)	Mandres-en-Barrois	Zone puits
	Bonnet	Zone puits (à compter de la seconde surface de dépôt des matériaux excavés quelques années après la mise en service du centre de stockage)

Elle comprend l'ensemble des surfaces accueillant les bâtiments, ouvrages, équipements et aménagements paysagers de la zone puits à savoir :

- une zone « travaux » 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 travaux, comprenant notamment :
  - ✓ les puits de ventilation travaux ou de transfert de matériels et matériaux :
    - le puits assurant l'apport d'air frais et le transfert du personnel vers la zone souterraine en travaux ;
    - le puits permettant l'extraction d'air vicié de la zone souterraine en travaux ;
    - le puits permettant le transfert des matériels et matériaux ainsi que des déblais de creusement.
  - ✓ la zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien déposés sous forme de « verses » notamment pour la mise en réserve des matériaux utiles ultérieurement à la fermeture du stockage ;
- une zone « exploitation » comprenant notamment :
  - ✓ les puits de ventilation exploitation :
    - 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 ;
  - ✓ les installations support regroupant :
    - les postes de garde et contrôle des accès ;
    - le bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes ;
    - le bâtiment « lampisterie » situé en zone exploitation ;
    - la centrale d'alimentation électrique haute-tension ;
    - la station de traitement des effluents liquides ;
    - les bassins de gestion des eaux ;
- une zone dite administrative accueillant notamment :
  - ✓ une zone de stationnement dite « parking silo » ;
  - ✓ un bâtiment regroupant des activités tertiaires ;
  - ✓ le restaurant d'entreprise ;
  - ✓ un atelier de maintenance conventionnelle de surface.
- une zone dédiée à la gestion des utilités regroupant les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides de la zone puits et de l'installation souterraine ainsi qu'une zone « d'accueil travaux ».

Aucun colis de déchets radioactifs ne transite sur la zone puits.

Les installations et ouvrages de surface de la zone puits sont présentées dans les chapitres qui suivent.

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. L'aire de stationnement principale est située à l'entrée de la zone puits.

Les ouvrages de la zone puits sont intégrés dans des secteurs clôturés permettant d'assurer les procédures de contrôle et d'apporter le niveau de protection approprié. L'accès à la zone puits s'effectue *via* une route faisant partie de la liaison intersites (cf. Chapitre 3.2.6 du présent volume), depuis la route départementale D60/960. En cas de situation exceptionnelle, une voie de secours privée permet de rejoindre cette route.

Lors de la première phase de construction, la surface de la zone puits est de l'ordre de 136 ha de surface remaniée. Elle inclut la surface de l'ordre de 60 ha nécessaire pour la gestion des matériaux excavés (Z1). Quelques années après la mise en service du centre stockage, une seconde surface de gestion des déblais (Z2) d'environ 48 ha est nécessaire. La zone puits est étendue vers le nord (cf. Chapitre 3.2.4.2 du présent volume).

Pour la gestion du Callovo-Oxfordien excavé par les travaux de réalisation des derniers ouvrages souterrains, une troisième zone (Z3), d'environ 39 ha de surface remaniée, pourrait devoir être aménagée dans plusieurs décennies en cas de non-disponibilité dans le temps des filières de valorisation. Cette zone n'est pas reportée sur les illustrations de la zone puits du présent chapitre. Elle est cependant prise en compte dans la présente Étude d'impact, en particulier pour l'évaluation des incidences.

La figure 3-39 présente un exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone puits.



Figure 3-39 Exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone puits (vision en fin de phase de fonctionnement)

Les installations et ouvrages de surface de la zone puits sont présentées dans les chapitres qui suivent.

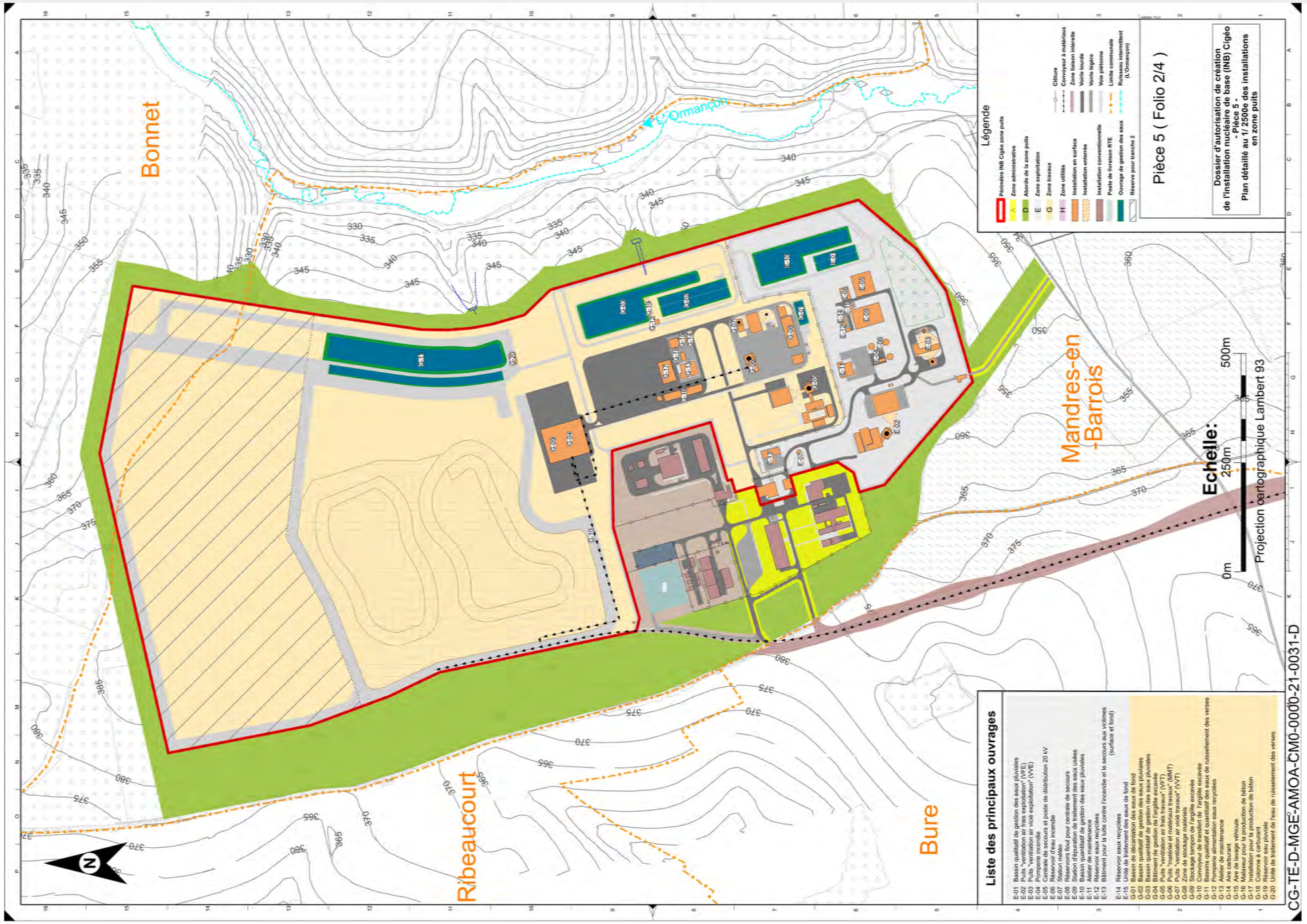


Figure 3-40 *Organisation générale de la zone puits*

3.2.4.2 Les installations de surface de la zone « travaux » de la zone puits

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone puits (ZP)

La zone « travaux » de la zone puits est 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, comprenant notamment :

- des puits de ventilation travaux ou de transfert des matériels et matériaux :
  - ✓ le puits dénommé « ventilation air frais travaux » (VFT) permettant l'apport d'air frais et le transfert du personnel vers la partie en travaux de l'installation souterraine ;
  - ✓ le puits dénommé « ventilation air vicié travaux » (VVT) permettant l'extraction d'air vicié collecté dans la partie en travaux de l'installation souterraine.
  - ✓ le puits dénommé « matériels et matériaux travaux » (MMT) permettant :
    - le transfert vers la partie en travaux de l'installation souterraine des équipements et matériels lourds et des matériaux nécessaires aux travaux souterrains ;
    - le transfert vers les installations de surface des déblais issus des creusements ;
- la zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien déposés sous forme de « verses » notamment pour la mise en réserve des matériaux utiles à la fermeture du stockage.

La figure 3-41 présente la localisation des installations de la zone travaux.



Figure 3-41 Localisation des installations de la zone travaux

Les activités de travaux sont physiquement séparées des activités liées à l'exploitation nucléaire, aussi bien en surface qu'au fond.

3.2.4.2.1 Les émergences des puits pour les travaux

Les puits de la zone travaux comprennent les puits « ventilation air frais travaux » (VFT), « matériels et matériaux travaux » (MMT) et « ventilation air vicié travaux » (VVT) qui sont localisés en surface dans la zone puits travaux et en souterrain dans la zone de soutien logistique travaux. Ces puits sont présentés au chapitre 3.2.5.2.3 du présent volume.

a) Le puits « ventilation air frais travaux » – VFT

Activités

Le puits « ventilation air frais travaux » (VFT) est exclusivement dédié à l'activité travaux de l'installation souterraine et permet :

- de transférer le personnel des installations de surface conventionnelles vers la zone de soutien logistique travaux ;
- de ventiler et d'alimenter en air frais les ouvrages souterrains en travaux par des unités de ventilations situées en surface.

Description

Les émergences du puits « ventilation air frais travaux » (VFT) sont composées des ouvrages suivants :

- l'usine de ventilation : un bâtiment semi-enterré abritant au niveau bas les ventilateurs air frais et au niveau haut les locaux techniques. Le local dédié aux ventilateurs est conçu en double hauteur et équipé d'un pont roulant permettant toutes les opérations de maintenance nécessaires. Le bâtiment possède plusieurs « voies » de soufflage de l'air ;
- le chevalement : un bâtiment supportant les équipements manutentions et ses annexes technique ainsi que les ascenseurs d'accès au fond et la cabine de contrôle ascenseurs ;
- les vestiaires/lampisteries : bâtiments regroupant les vestiaires et lampisteries pour le personnel et les visiteurs professionnels. Un lien direct et protégé vers l'entrée du chevalement depuis les vestiaires/lampisteries assure le contrôle du flux du personnel entrant/sortant du puits.



Figure 3-42 Illustration de l'émergences du puits VFT, représentation 3D

b) Le puits « ventilation air vicié travaux » – VVT

Activités

Le puits « ventilation air vicié travaux » (VVT) est exclusivement dédié à l'extraction d'air vicié des galeries en activité travaux. Le puits est connecté aux unités de ventilation en surface.

Description

Les émergences du puits « ventilation air vicié travaux » (VVT) sont composées des ouvrages suivants :

- l'usine d'extraction : bâtiment sur deux niveaux ayant pour fonction principale d'abriter l'ensemble des équipements assurant l'extraction de l'air vicié de la zone travaux en souterrain et comme fonction secondaire la récupération d'énergie à partir de l'air extrait. Le bâtiment est semi-enterré, le niveau bas intègre les ventilateurs, silencieux, entonnoirs et les locaux abritant les équipements de récupération d'énergie. Le niveau haut intègre les locaux techniques électriques et les équipements de manutention des éléments du niveau bas. Le bâtiment possède plusieurs « voies » d'extraction d'air ;
- l'émergence de tête de puits : bâtiment de surface se trouvant directement au-dessus du puits. Il intègre les équipements pour l'inspection et la maintenance du puits ;
- l'émissaire (cheminée assurant le rejet de l'air en surface) et les espaces extérieurs.

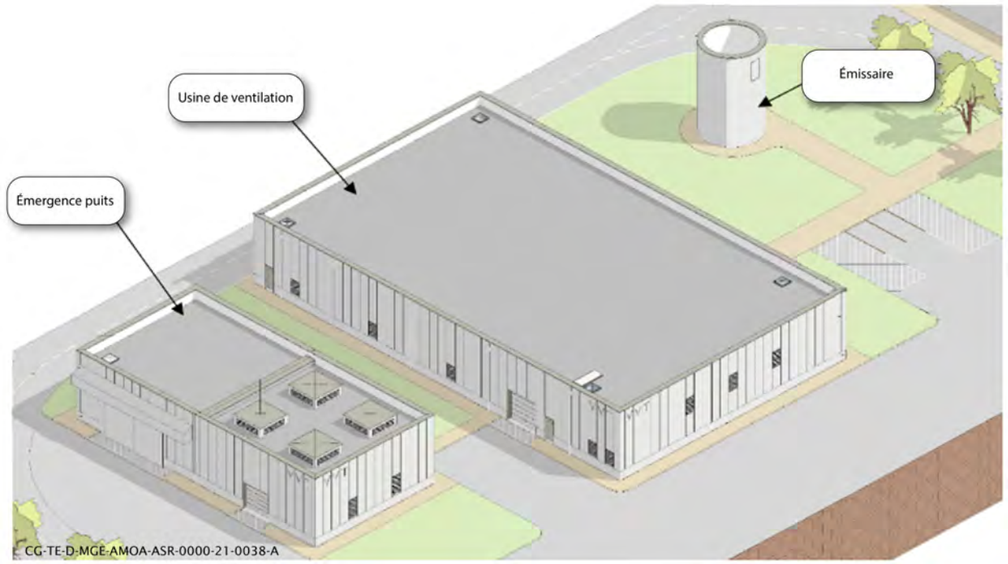


Figure 3-43 Illustration de l'émergence du puits VVT, représentation 3D

c) Le puits « matériels et matériaux travaux » – MMT

Activités

Le puits « matériels et matériaux travaux » (MMT) est essentiellement dédié à l'activité travaux et permet :

- de transférer les équipements, les matériels et matériaux pour les travaux et équipements encombrants du process nucléaire ;
- d'acheminer vers la surface les déblais issus des excavations.

Description

Les émergences du puits « matériels et matériaux » (MMT) sont composées des ouvrages suivants :

- une trémie de transfert ;
- un chevalement assurant le transfert de matériel et matériaux en entrée et sortie :
  - ✓ deux *skips* ;
  - ✓ un ascenseur cage destiné au transport des engins et équipements de travaux pour les activités de chantier de la zone travaux en fond ;
  - ✓ une bande transporteuse installée dans un ouvrage de génie civil enterré qui permet le transfert des verses vers les installations de traitement en zone puits ainsi que l'alimentation à partir de la centrale à béton ;
- une zone constituée de locaux techniques dédiée au fonctionnement des moyens de manutention localisés à proximité du chevalement.



Figure 3-44 Illustration de l'émergences du puits MMT, représentation 3D

3.2.4.2.2 Les installations de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien

a) Le principe de déploiement

Le principe retenu est de déployer progressivement les ouvrages souterrains, par tranches successives, en fonction des besoins de stockage des colis de déchets radioactifs. Des travaux de creusement et d'équipement des quartiers de stockage sont donc effectués pendant la phase de fonctionnement du centre.

Les déblais du Callovo-Oxfordien dans lequel sont implantés les ouvrages de stockage des déchets radioactifs, sont donc excavés progressivement lors des travaux de creusement. Ils sont remontés à la surface puis regroupés sur des aires d'entreposages provisoires à proximité des points d'extraction.

Ils sont ensuite acheminés, *via* un convoyeur, vers la zone de gestion des verses située au nord de la zone puits au niveau de laquelle ils seront ensuite gérés :

- jusqu'au creusement des puits, les verses sont excavées par les descenderies service et colis en zone descenderie puis transportées jusqu'à la zone de stockage des verses en zone puits *via* un convoyeur de matériaux (dit de plaine, parallèle à la liaison intersites) ;
- une fois les puits creusés, les verses sont remontées en surface par le puits matériel et matériaux travaux en zone puits puis transportées jusqu'à la zone de stockage des verses en zone puits *via* un convoyeur enterré de transfert de l'argilite excavée.

À leur arrivée sur la zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien, selon leur granulométrie, ces derniers peuvent être traités dans un bâtiment dédié (homogénéisation des déblais *via* des opérations de tri et concassage) avant stockage. Ce bâtiment permet également d'assurer un stock tampon en cas de maintenance du convoyeur).

Parmi les déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien, on distingue :

- les verses dites « vives » qui serviront de matériau de remblai pour l'obturation et la fermeture définitive de l'installation souterraine (environ 40 % du volume extrait total) ;
- les verses dites « mortes », qui ne seront pas réutilisées pour la fermeture du stockage (environ 60 % du volume extrait total).

Afin de réduire la surface à défricher du bois Lejuc en vue d'y déposer les verses et d'éviter le corridor écologique du schéma régional de cohérence écologique, l'Andra prévoit de valoriser les verses « mortes », non réutilisées, dans des filières de valorisation extérieures au centre de stockage.

La surface totale envisagée pour la zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien permet principalement :

- la gestion des verses vives jusqu'à ce qu'elles soient utilisées pour l'obturation et la fermeture définitive de l'installation souterraine ;
- la gestion des verses mortes, jusqu'à ce qu'elles soient évacuées du site pour valorisation ;
- la gestion des matériaux terreux excavés dans le cadre du projet (déblais de terrassement et de creusement de liaisons surface-fond) jusqu'à ce qu'ils soient réutilisés progressivement pour le couvert végétal des verses.

La figure 3-45 permet de visualiser la zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien (d'environ 108 ha, toutes plateformes et bassins compris) telle que retenue pour la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo :

- la zone Z1 (d'environ 60 ha) permet l'implantation des verses vives et est nécessaire dès le début de la construction initiale ;
- la zone Z2 (d'environ 48 ha) permet la gestion les déblais issus du creusement de la première extension de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo et sera aménagée ultérieurement.

Dans l'éventualité où les filières de valorisation des verses mortes n'aboutiraient pas ou si leur pérennité venait à être remise en question pendant le fonctionnement du centre, l'Andra devrait avoir recours à une extension de la zone des verses à l'horizon 2080 (cf. Chapitre 2.4.1.3.5 du présent volume). Une troisième zone (Z3), d'environ 39 hectares, pourrait alors être envisagée pour les derniers travaux d'extension des ouvrages de stockage ; la figure 3-46 permet de visualiser cette zone.

Cette opération nécessiterait éventuellement, sous réserve du contexte réglementaire à cette échéance, notamment et dans un premier temps le dépôt d'une demande d'enquête publique préalable à une déclaration d'utilité publique modificative. Afin de couvrir cette incertitude et d'évaluer l'ensemble des impacts potentiels de son projet, l'Andra étudie et présente, dans la présente étude d'impact, les incidences maximales du centre de stockage Cigéo prenant en compte une augmentation de 39 hectares de surface remaniée de la zone d'implantation des verses.

Les verses vives seront ensuite réutilisées progressivement pour la fermeture des quartiers de stockage (HA, MA-VL), *via* le convoyeur enterré de transfert de l'argilite excavée et le puits MMT. En phase de démantèlement, les verses vives sont réutilisées pour le remblayage des galeries de liaisons des zones de soutien logistique et des liaisons surface fond, seul les remblayages de la zone de soutien logistique travaux et des puits se faisant directement *via* les puits, les autres se faisant *via* le convoyeur de matériaux (dit de plaine, parallèle à la liaison intersites) et les descenderies service et colis (comme pour les opérations d'excavation avant création des puits – cf. Début du présent chapitre).

Une fois les verses vives réutilisées pour refermer l'installation les plateformes pourront faire l'objet de travaux écologiques pour reconstituer un milieu naturel s'intégrant dans l'environnement.



Figure 3-45 *Plan de principe de localisation du déploiement des verses en zone puits (Z1 et Z2)*

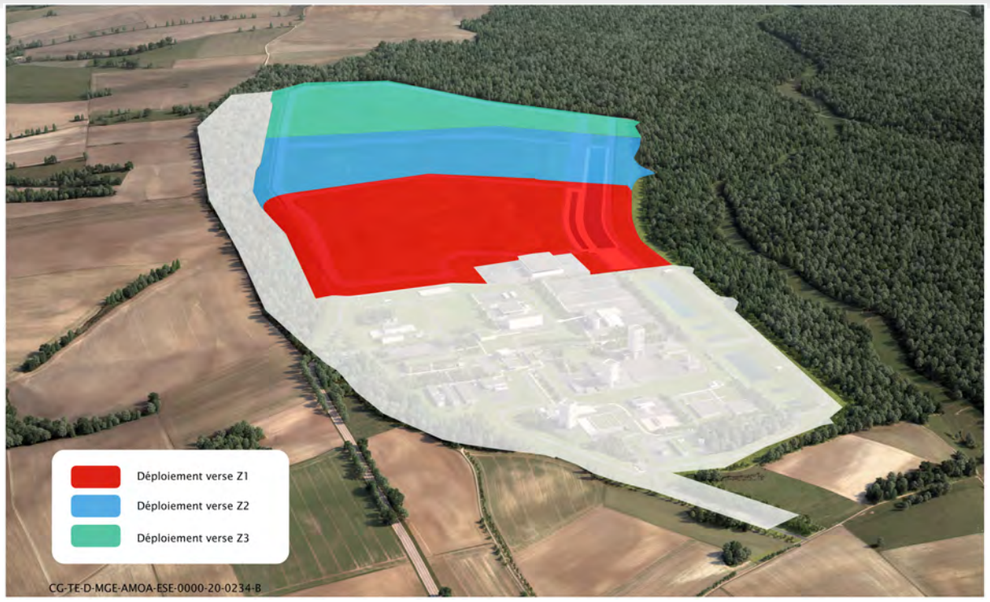


Figure 3-46 Plan de principe du déploiement de l'éventuelle troisième tranche de verses (Z3)

b) La localisation des installations et ouvrages

L'argilite du Callovo-Oxfordien dans laquelle sont implantées les ouvrages souterrains, excavée progressivement lors des travaux de creusement, est remontée à la surface et acheminée sur la zone de gestion des verses située au nord de la zone puits. Une partie de cette argilite est réutilisée lors des opérations de fermeture.

Pour la gestion des verses, la zone puits travaux et verses de la zone puits comprend une zone de gestion des verses (dépôt des déblais), un bâtiment de gestion de l'argilite excavée (dépôt tampon et traitement) et un convoyeur.

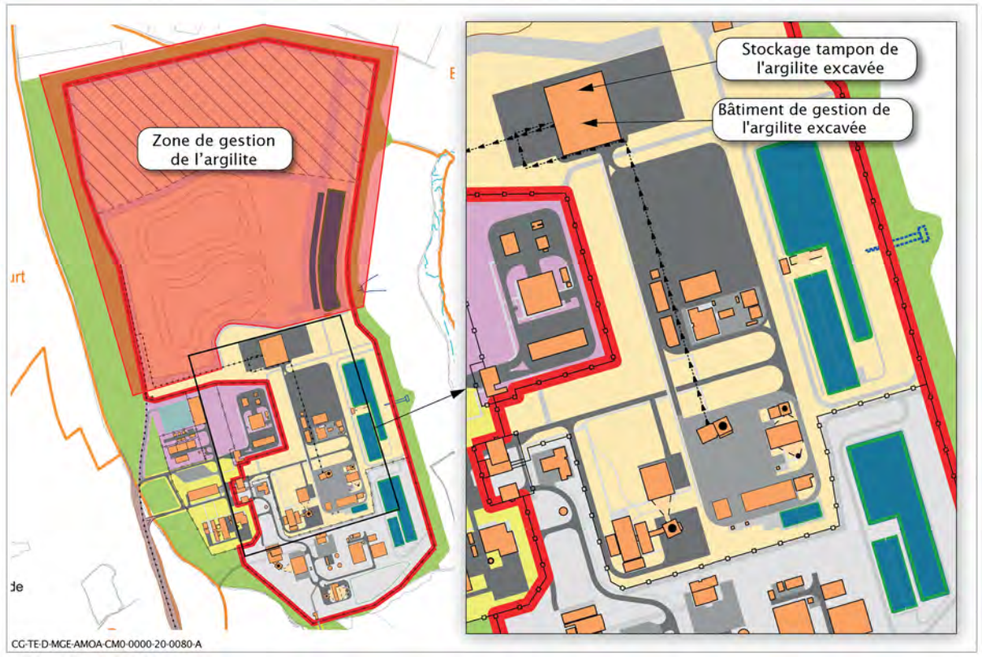


Figure 3-47 Localisation des ouvrages de gestion de l'argilite sur la zone puits

Activités

Les activités mises en œuvre, associées à la gestion de l'argilite excavée, sont les suivantes :

- le dépôt temporaire de l'argilite excavée pour tri ou concassage (argilite et autres matériaux tel qu'éventuellement des résidus de béton projeté) et départ vers sa mise en dépôt ;
- la mise en dépôt des verses « vives » en attendant leur réutilisation pour la fermeture des installations souterraines ;
- la gestion des flux de verses « mortes » qui sont évacuées vers des filières extérieures pour valorisation ;
- la gestion des matériaux terreux réutilisés progressivement pour le couvert végétal des verses ;
- le dépôt temporaire des verses « vives » et traitement (eau, bentonite, sable, etc.) avant réutilisation en remblais de fermeture ;
- le transfert de l'argilite excavée.

Description

La zone de gestion des verses

Compte tenu de la topographie du site présentant un dénivelé vers la vallée de l'Ormançon, la zone de gestion des verses est aménagée sur des plates-formes étagées. Afin d'optimiser la mise en dépôt des argilites et de réduire la surface totale de la zone, ces plates-formes sont munies d'une digue sur les côtés nord, ouest et sud. La hauteur maximale actuellement envisagée pour les verses est d'environ 20 mètres.

La mise en dépôt des verses se fait à partir d'une assise compactée faiblement perméable. La réalisation des verses se fera ensuite par ajouts successifs de couches d'argilites qui seront compactées et contrôlées. Au vu de la hauteur finale de la verse (de l'ordre de 20 mètres), la verse doit être considérée comme un ouvrage d'art.

Au-dessus de ce remblai d'argile, une couverture végétalisée est installée au fur et à mesure afin de protéger l'argile excavée des intempéries. Pour cela sont mis en place :

- un niveau drainant afin de faciliter la reprise de la végétation ;
- du matériau terreux composé par les matériaux récupérés du décapage de la zone puits amendé par les souches broyées des arbres du bois Lejuc ;
- de la végétalisation afin de favoriser l'évapotranspiration.

Ce dispositif a pour objectif de limiter les eaux d'infiltration dans les verses.

Du fait des principes constructifs retenus et du contrôle qualité associé, la percolation des eaux dans les verses sera très faible.

Pendant le chantier, un programme de contrôle sera mis en place pour le suivi de la qualité du compactage (Gammadensimètre, essais à la plaque ou à la dynaplaque) et de la teneur en eau pendant le montage des verses.

La réalisation des aménagements nécessaires à la gestion des verses (digue, bassins) sur la zone puits est étendue graduellement, afin de limiter le défrichement et la consommation d'emprise foncière dans le temps au juste nécessaire.

La filière de traitement des eaux de ruissellement des verses est décrite dans le chapitre 6.2.3.1 du présent volume.

Le bâtiment de gestion de l'argilite excavée permet :

- le dépôt temporaire de l'argilite excavée en dehors des périodes d'activité de mise en verse (dépôt tampon avant reprise). Le dépôt provisoire de l'argilite vise à maintenir un fonctionnement en période d'aléas climatiques et en dehors des périodes d'activité de mise en verse ;
- la préparation de l'argilite en amont de sa mise en œuvre pour remblayage des installations souterraines. L'argilite excavée, reprise de l'aire de gestion des verses est traitée (homogénéisation par concassage et tri) en amont du remblayage des ouvrages souterrains.

Le bâtiment de gestion de l'argilite excavée comprend pour cela :

- une zone dépôt/chargement-déchargement et contrôle, permettant notamment le dépôt tampon en amont du traitement de l'argilite. Cette zone comprend six alvéoles avec chacun un volume tampon d'environ un millier de mètres cubes ;
- des locaux personnels (cabine de supervision et un bloc sanitaire) ;
- des locaux techniques ;
- des espaces extérieurs ;
- une zone réservée pour l'installation du dispositif de traitement des matériaux (concassage et tri) pour les opérations de fermeture.

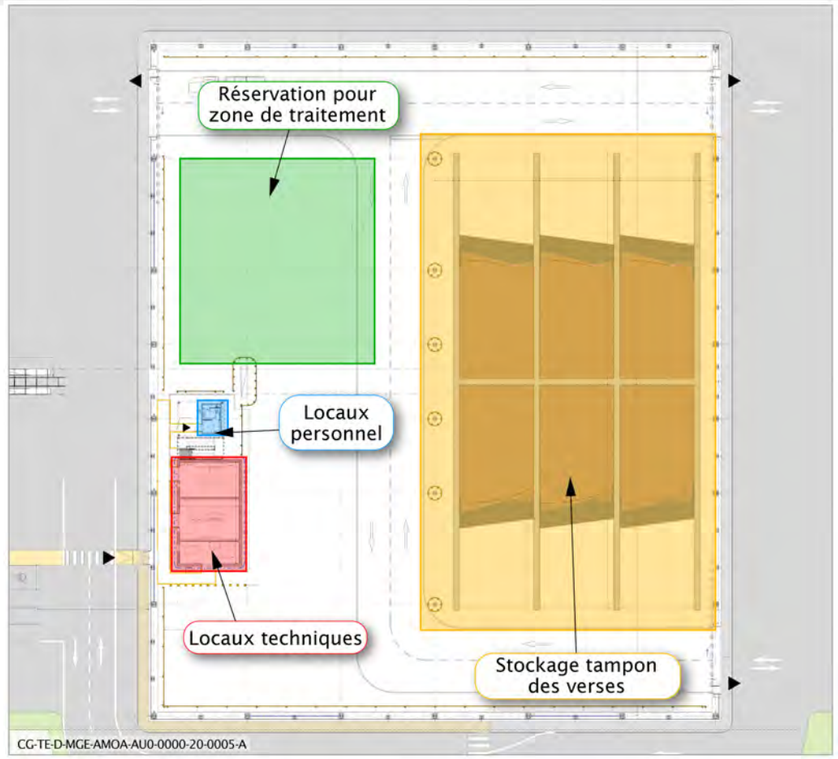


Figure 3-48 Illustration du bâtiment de gestion de l'argilite excavée

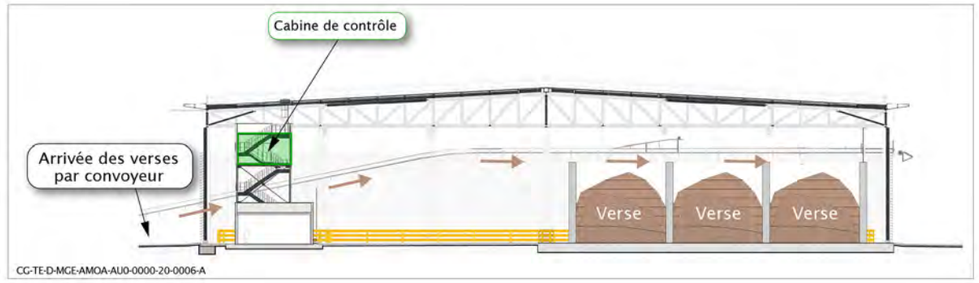


Figure 3-49 Illustration en coupe du bâtiment de gestion de l'argilite excavée

Le convoyeur de transfert de l'argilite excavée de la zone puits

L'argilite excavée lors des travaux de creusement est regroupée en surface sur des aires de dépôt provisoires (*stockpile*), situées à proximité des points d'extraction, puis acheminés vers la zone de gestion des verses par convoyeur.

En phase de fonctionnement, les matériaux excavés sont acheminés par le puits « matériels et matériaux travaux » (MMT). L'argilite excavée arrive en surface de la zone puits *via* des skips. Elle chemine ensuite au travers de la zone puits travaux et verses à l'aide d'un convoyeur de transfert enterré pour être envoyée vers la zone de dépôt ou vers le bâtiment de gestion de l'argilite excavée pour être triées et stockées.

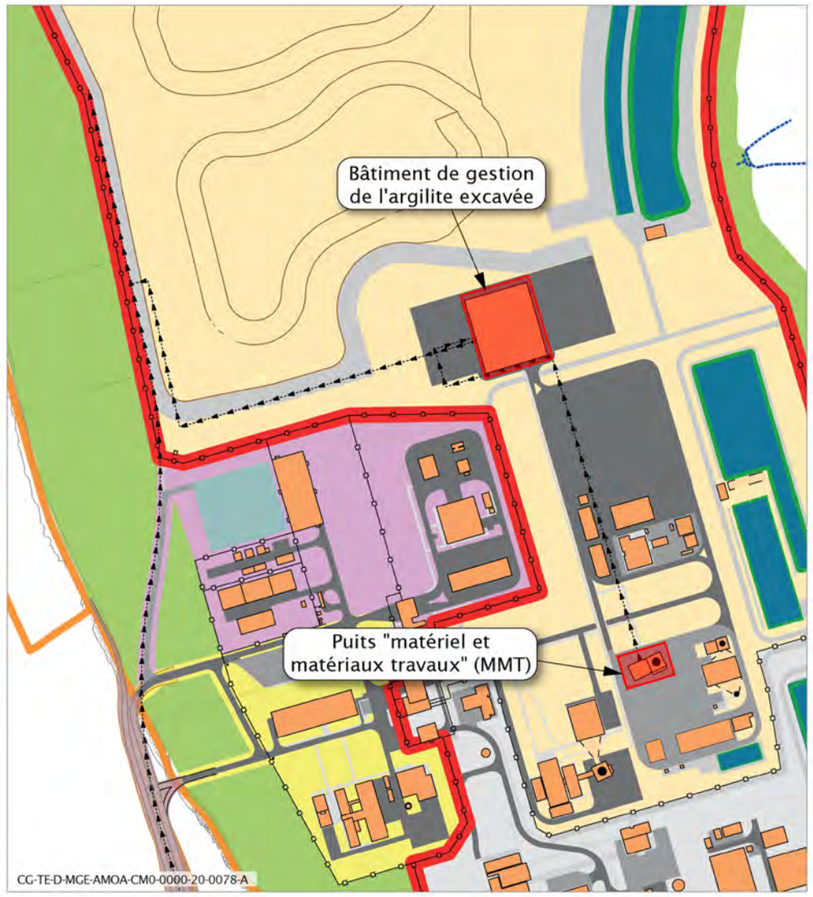


Figure 3-50 Localisation du convoyeur de matériaux de la zone puits

<u>Le convoyeur de matériaux cheminant entre la zone descenderie et zone puits</u>

Le cheminement du convoyeur de matériaux parallèle à la liaison intersites entre la zone descenderie et la zone puits est présenté sur la figure 3-51. Ce convoyeur se connecte à l'ouest de l'aire de dépôt des verses de la zone puits.

Le convoyeur de matériaux est composé d'une unique bande entre le point de chargement et le point de déchargement. La bande aller et la bande retour sont disposées côte à côte dans un caisson béton semi-enterré permettant de limiter la hauteur de l'ouvrage et donc son impact paysager.

Afin de faciliter l'exploitation et la surveillance de cette installation, un chemin d'exploitation sera aménagé le long du convoyeur de matériaux

Ce convoyeur est utilisé :

- dans un premier temps, lors de la construction initiale du centre de stockage, pour :
  - ✓ transférer l'argilite, excavée *via* les tunneliers, de la zone descenderie vers la zone puits ;
  - ✓ transférer les matériaux de construction des ouvrages de la zone descenderie vers la zone puits ;
- dans un second temps, lors des opérations de fermeture des installations souterraines pour transférer l'argilite réutilisée pour le remblayage des ouvrages souterrains de la zone puits vers la zone descenderie.

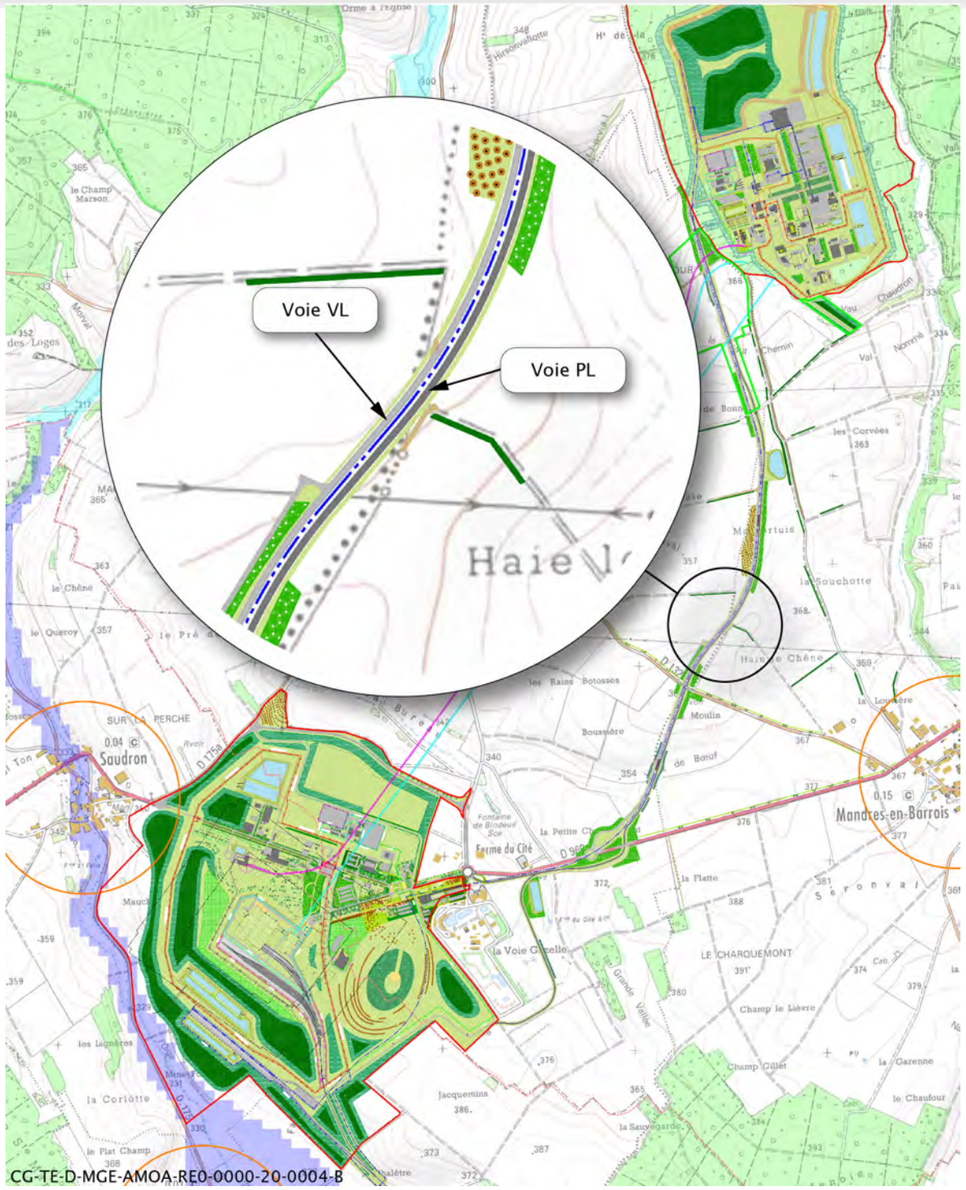


Figure 3-51 Localisation du convoyeur de matériaux entre la zone descenderie et la zone puits

3.2.4.2.3 Les autres installations présentes sur la zone

Les autres installations présentent sur cette zone sont :

- l'atelier de maintenance et magasin associés aux activités travaux, bâtiment implanté à proximité du puits matériels et matériaux travaux. Il permet d'assure le stockage de pièces de rechange et la maintenance des équipements nécessaires à la construction souterraine ;
- les zones de stockage matériels/matériaux pour la conservation à ciel ouvert de matériel ou de matériaux utiles aux travaux et qui ne nécessitent pas d'être protégés des conditions climatiques extérieures. La surface au sol de ces zones est de l'ordre de 20 000 m² ;
- les aires techniques/aires de stationnement, deux parkings poids lourds présents sur la zone, chacun positionné à proximité d'une aire de carburant et d'une aire de lavage ;
- les ouvrages de protection du site, réseau de postes de garde et de clôtures permettant de gérer l'accès aux différents périmètres.

3.2.4.3 Les installations de surface de la zone « exploitation » de la zone puits

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone puits (ZP)

La zone exploitation de la zone puits regroupe :

- les puits de ventilation exploitation :
  - ✓ le puits dénommé « ventilation air frais exploitation » (VFE) permettant d'assurer le transfert du personnel des installations de surface vers la zone de soutien logistique exploitation (ZSL-E) et l'apport d'air frais aux ouvrage souterrains à partir des unités de ventilation situées en surface ;
  - ✓ le puits dénommé « ventilation air vicié exploitation » (VVE) permettant l'extraction d'air des ouvrages souterrains en exploitation ;
- les installations de surface de soutien à l'exploitation et à la maintenance de la zone puits regroupant :
  - ✓ les bâtiments et ouvrages dédiés aux fonctions de sureté, sécurité et protection de l'environnement (bâtiment sureté, sécurité et protection de l'environnement, postes de garde, clôtures) ;
  - ✓ les ouvrages amont de lutte contre l'incendie et centrale électrique de secours ;
  - ✓ les bâtiments dits de support (station de traitement des effluents liquides et atelier maintenance) ;



Figure 3-52 Localisation des installations liées à la zone exploitation de la zone puits

3.2.4.3.1 Les émergences des puits pour l'exploitation

Les émergences (ouvrages de surface) des puits de ventilation air frais exploitation (VFE) et ventilation air vicié exploitation (VVE) sont implantées en zone exploitation de la zone puits.

Les puits sont pour leur part présentés au chapitre 3.2.5.2.4 du présent volume.

a) Le puits « ventilation air frais exploitation » - VFE

Localisation

Les ouvrages de surface du puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) sont implantés en zone puits exploitation (cf. Figure 3-53).

Activités

Le puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) est exclusivement dédié à l'exploitation et permet :

- de ventiler et d'alimenter en air frais les ouvrages souterrains par des unités de ventilations situées en surface ;
- de transférer le personnel dédié à l'exploitation et à la maintenance vers la zone de soutien logistique dite ZSLE.

Description

Les émergences du puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) sont composées des ouvrages suivants (cf. Figure 3-54) :

- d'une usine de ventilation. Elle abrite les ventilateurs de soufflage ainsi que la prise d'air principale ;
- du chevalement du puits (structure positionnée au-dessus du puits). Il est situé au-dessus du puits d'air frais. Il abrite la prise d'air secondaire ;
- de vestiaires et lampisteries.

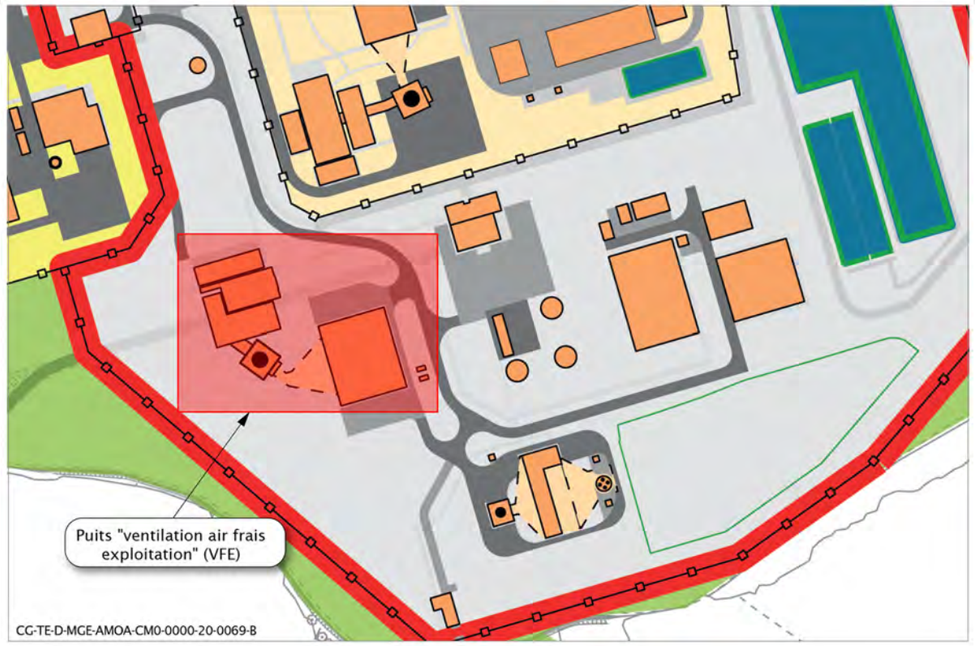


Figure 3-53 Localisation du puits de ventilation air frais exploitation (VFE) - zone puits

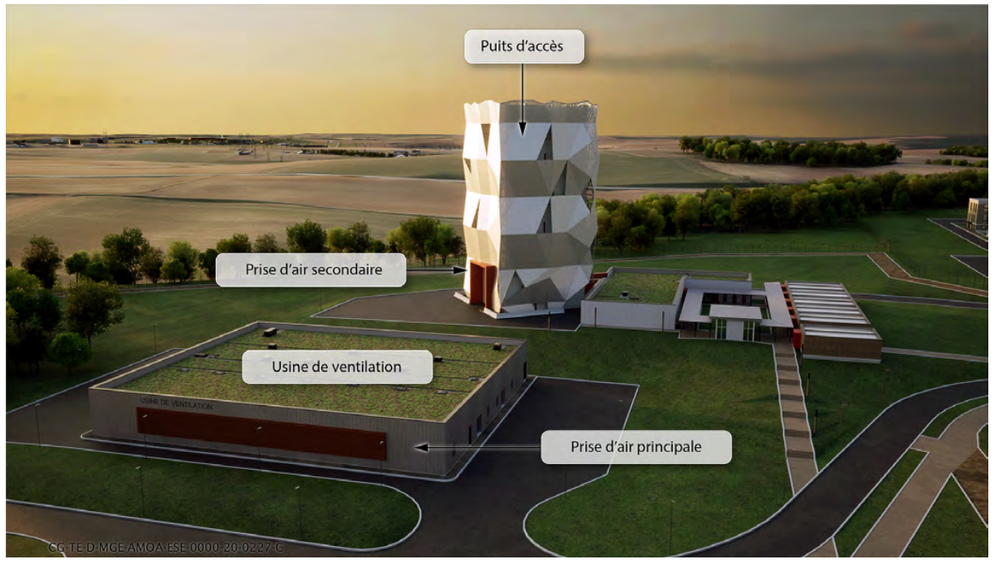


Figure 3-54 Illustration des émergences du puits ventilation air frais exploitation (VFE), représentation 3D

b) Le puits « ventilation air vicié exploitation » - VVE

Localisation

Les ouvrages de surface du puits « ventilation air vicié » (VVE) sont implantés en zone puits exploitation (cf. Figure 3-55).

Activités

Le puits « ventilation air vicié exploitation » (VVE) est exclusivement dédié au retour d'air vicié en zone d'exploitation.

Description

Les émergences du puits « ventilation air vicié exploitation » (VVE) sont composées des ouvrages suivants (cf. Figure 3-56) :

- l'usine de ventilation : bâtiment semi-enterré abritant au niveau inférieur les ventilateurs, batteries/silencieux et aux niveaux supérieurs les locaux techniques associés et les équipements de manutention sur trémies. L'usine possède plusieurs voies d'extraction d'air séparées par des parois sur lesquelles est également appliqué un système de récupération d'énergie ;
- l'émergence puits : bâtiment intégrant les équipements (nacelle) pour l'inspection et la maintenance du puits ;
- la cheminée de rejet des effluents gazeux.



Figure 3-55 Localisation du puits de ventilation air vicié exploitation (VVE) - zone puits

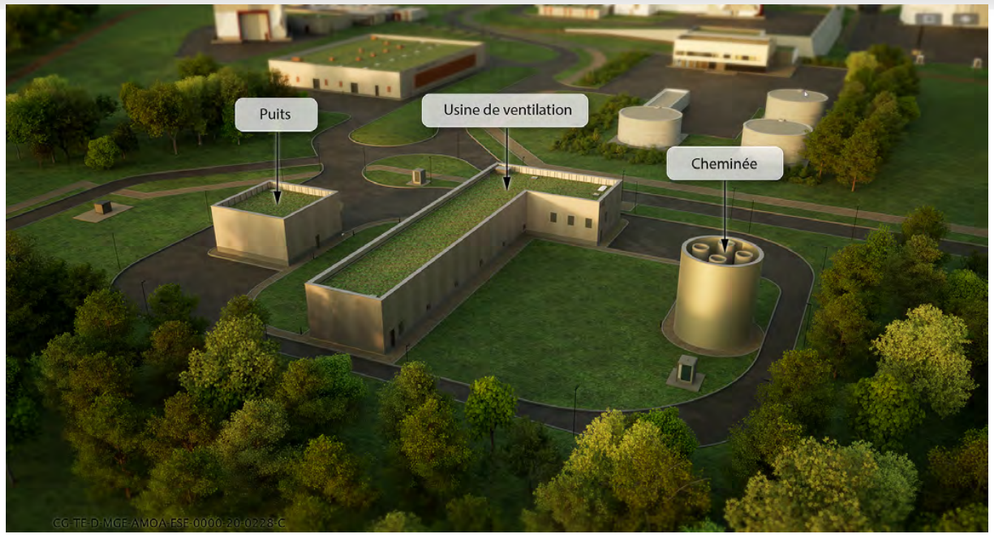


Figure 3-56 *Illustration des émergences du puits ventilation air vicié exploitation (VVE), représentation 3D*

3.2.4.3.2 Les installations de surface en soutien au fonctionnement de l'INB

En complément des ouvrages cités précédemment, les installations de surface en soutien au fonctionnement de l'INB regroupent :

- le bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes ;
- les ouvrages du réseau de lutte contre l'incendie ;
- la centrale de secours ;
- les ouvrages de gestion des eaux et de traitement des effluents liquides conventionnels ;
- les ateliers de maintenance.

a) Le bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes

Localisation

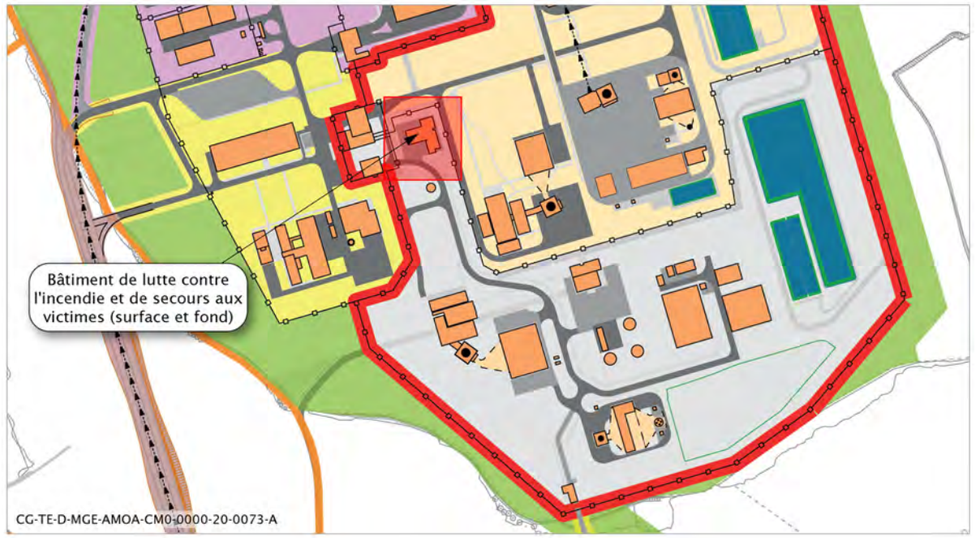


Figure 3-57 *Localisation du bâtiment de lutte incendie et de secours aux victimes de la zone puits*

Activités

Le Bâtiment de lutte incendie et de secours aux victimes de la zone puits est complémentaire aux moyens déployés par le bâtiment « sûreté/sécurité environnement » permettant de garantir une intervention au fond (installation souterraine) dans un délai de l'ordre d'une quinzaine de minutes. Ce Bâtiment est un ouvrage « esclave » du Bâtiment « sûreté/sécurité/environnement » de la zone descenderie. À ce titre, aucune décision ni aucun pilotage n'est possible depuis cet ouvrage.

Description

Le bâtiment de lutte incendie et de secours aux victimes de la zone puits comprend :

- une salle de départ des services d'intervention ;
- des bureaux ;
- des vestiaires et sanitaires ;
- des locaux techniques ;
- un hangar capable d'accueillir deux véhicules de lutte contre l'incendie et/ou de secours à victime.

b) Les ouvrages du réseau de lutte contre l'incendie

Localisation

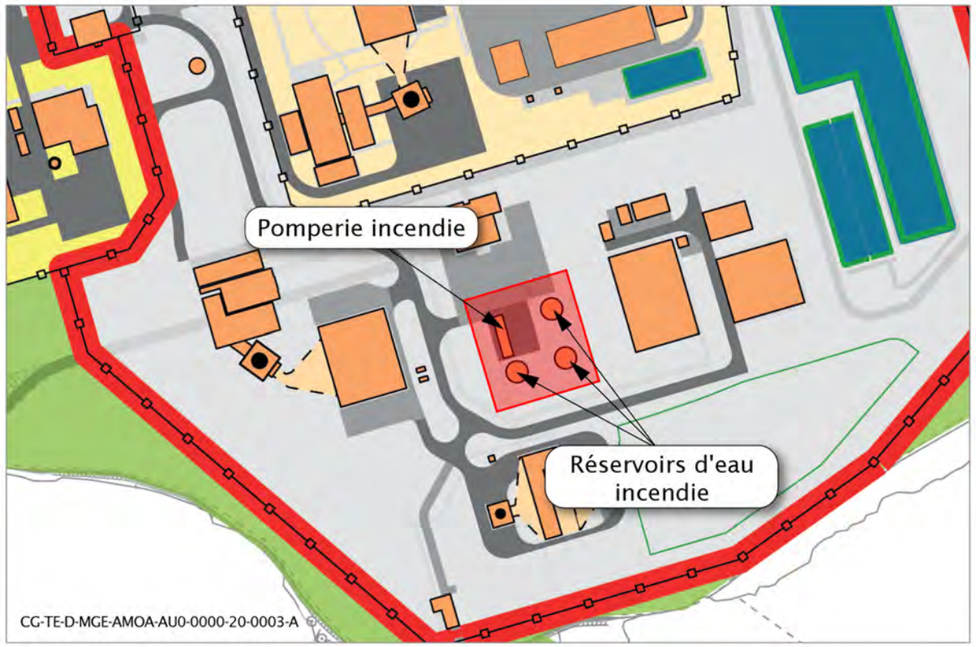


Figure 3-58 Localisation de la pomperie incendie et de ses réservoirs- zone puits

Activités

Les ouvrages du réseau de lutte contre l'incendie permettent d'assurer le stockage et l'alimentation en eau nécessaires à la mise en œuvre des systèmes d'extinction incendie.

Ils sont constitués :

- de réservoirs ;
- de pomperies ;
- du réseau de distribution général desservant les ouvrages à protéger.

Description

Trois réservoirs d'eau incendie sont implantés sur la zone. Les réservoirs sont totalement enterrés.

La pomperie incendie est également implantée sur la zone puits. Elle comprend trois locaux indépendants reliés chacun à un réservoir incendie.

c) La centrale de secours

Localisation

Une centrale électrique de secours est implantée sur la zone.



Figure 3-59 Localisation de la centrale de secours et de ses réservoirs fioul en zone puits

Activités

La centrale de secours permet de fournir une alimentation électrique aux équipements importants, comme la ventilation des ouvrages souterrains décrits par ailleurs.

Description

La centrale de secours est composée de plusieurs groupes électrogènes, utilisés simultanément ou non selon les besoins en énergie secourue évoluant graduellement en fonction du déploiement incrémental des installations (mise en exploitation des tranches successives). Elle est accompagnée également de cuve enterrée munies de bornes de dépotage.

d) Les ouvrages de gestion des eaux et de traitement des effluents liquides conventionnels

La zone exploitation accueille également les ouvrages de gestion et de traitement des eaux et effluents conventionnels de la zone puits. Les principes de gestion des eaux pluviales et des effluents provenant de cette zone ainsi que les dispositifs de traitement des effluents liquides conventionnels mis en œuvre sont présentés succinctement au chapitre 6.2.3 du présent volume ainsi que de manière détaillée dans le chapitre 5 du volume IV de la présente étude d'impact.

e) Les ateliers de maintenance

Localisation

La localisation des ateliers de maintenance est présentée sur la figure ci-après.



Figure 3-60 Localisation des ateliers de maintenance de la zone puits

Activités

Les ateliers de maintenance présents dans la zone puits permettent :

- la maintenance et le stockage de pièces de rechanges nécessaires à l'exploitation des ouvrages de surface ou des ouvrages souterrains ;
- le stockage de pièces de rechange et la maintenance des équipements nécessaires à la construction des ouvrages souterrains.

Description

Deux ateliers de maintenance sont présents dans la zone puits, un dans la zone exploitation et un dans la zone travaux. Le premier permet la maintenance et le stockage de pièces de rechanges nécessaires à l'exploitation des ouvrages souterrains et le second assure le stockage de pièces de rechange et la maintenance des équipements nécessaires à la construction des ouvrages souterrains.

3.2.4.4 Les installations de la zone administrative de la zone puits

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo En surface, zone puits (ZP)

Ces installations participent au bon fonctionnement des activités de la zone puits.



Figure 3-61 Localisation des installations liées à la zone administrative de la zone puits

3.2.4.4.1 Le parking silo

Le stationnement des véhicules du personnel d'exploitation des travaux et des visiteurs professionnels est organisé dans un ouvrage dénommé « parking silo ». Dans un souci d'optimisation des emprises, il est composé de quatre niveaux permettant le stationnement d'environ 460 véhicules. Il est localisé à proximité de l'entrée de la zone puits.

3.2.4.4.2 Le bâtiment tertiaire

Le bâtiment tertiaire regroupe les bureaux nécessaires aux équipes de suivi des travaux souterrains et une zone dédiée au suivi scientifique. Il est composé de quatre niveaux et est situé à proximité de l'entrée de la zone puits.

3.2.4.4.3 Le restaurant d'entreprise

La zone puits dispose d'un restaurant d'entreprise satellite du restaurant principal situé en zone descenderie. Ce restaurant est situé à proximité de l'entrée de la zone puits.

3.2.4.4.4 L'atelier de maintenance conventionnelle de surface

Ce bâtiment, regroupant atelier et magasin, permet la maintenance dite courante et le stock secondaire des pièces de rechanges de la zone puits. Il abrite également les moyens nécessaires à l'entretien des bâtiments, des voiries, des espaces verts. Il est composé de deux niveaux.

3.2.4.5 Les installations de la zone utilités de la zone puits

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo – Hors périmètre INB En surface, zone puits (ZP)

La zone utilités regroupe les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides (eau potable, réseaux de chaleur, eau « glacée »…) pour la zone puits et l'installation souterraine.

Associée à cette emprise se trouve également une zone dite « travaux » permettant notamment d'accueillir des installations de support aux activités souterraines de travaux installations (production de béton, atelier de maintenance et magasin associés aux activités travaux notamment).



Figure 3-62 Localisation de la zone utilités

3.2.4.5.1 Les utilités

a) La transformation et distribution électrique

Le poste de transformation et de distribution électrique sur la zone puits permet d'abaisser la tension de l'électricité fournie par RTE de 90 kV à 20 kV pour alimenter les installations de la zone puits et de l'installation souterraine.

Un poste de livraison électrique (90 kV), sous la responsabilité de RTE, est nécessaire en amont du poste de transformation et de distribution évoqué. Il est également positionné dans la zone utilité de la zone puits.

b) L'alimentation et distribution d'eau potable

L'eau potable arrive sur la zone puits *via* une canalisation enterrée. Le point de livraison est situé en bordure de site. L'eau potable est ensuite dirigée vers le réseau ou vers un réservoir enterré en béton de l'ordre de 150 m³. L'eau potable est ensuite distribuée sur la zone puits au moyen de pompes situées dans un local surpresseur. Cette capacité de stockage d'eau potable pourra éventuellement être revue à la hausse, dans la suite des études, afin de compléter le dispositif permettant de pallier une défaillance éventuelle de l'alimentation en eau du centre de stockage Cigéo. Il est à noter, que pour les usages d'eau non potable, différents réservoirs de stockage des eaux recyclées sont également prévus pour l'approvisionnement des installations du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 6.1.2.1 du présent volume).

c) La production de fluides eau chaude » et « eau glacée »

Les bâtiments de production des utilités accueillent des installations qui permettent :

- la production d'eau chaude notamment pour le chauffage des locaux et le traitement de l'air des installations souterraines. Cette production se fait à l'aide de chaudières biomasse (chaudière principale) et gaz (chaudières d'appoint en hivers). Des attentes permettant un éventuel raccordement à une canalisation de biogaz venant du territoire ainsi qu'un poste de raccordement à un réseau de chaleur (chambre à vanne) sont envisagés ;
- la production d'eau glacée pour le refroidissement de la ventilation. L'évacuation des calories des groupes froids se fait par l'intermédiaire de refroidisseurs à circuit fermé (pas d'interface entre le fluide à refroidir et l'air ambiant) ;
- les sous-stations et équipements électriques nécessaires à la production d'eau chaude de chauffage et d'eau glacée de refroidissement.

Le bâtiment chaufferie comprend notamment :

- une chaudière bois fournissant au minimum 75 % de l'énergie ;
- deux chaudières gaz d'appoint pour le fonctionnement en hiver ;
- une chaudière gaz de secours ;
- une zone de stockage de bois ;
- une cuve enterrée de stockage de gaz liquéfié ;
- une zone de stockage des résidus de combustion (cendres, fines).

Les principales caractéristiques des installations de la chaufferie de la zone puits sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 3-9 Principales caractéristiques des installations de la chaufferie de la zone puits

Puissance chaudière bois (MW utile)	1,1
Puissance chaudière gaz 1 (MW utile)	1,2
Puissance chaudière gaz 2 (MW utile)	1
Puissance chaudière secours gaz (MW utile)	1,2
Total hors secours **(MW utile)** **(MW PCI)**	 3,3 3,7
Total installé **(MW utile)** **(MW PCI)**	 4,5 4,9
Stockage bois (m³)	222
Stockage gaz (m³)	26,2
Traitement des fumées	Multi-cyclone + filtre à manche + solution d'urée à 32,5 %
Quantité de cendres sous foyer (t/an)	76,30
Quantité de cendres sous filtre à manche (t/an)	4
Hauteur minimale des cheminées (m)	11 et 14
Débit pompes (m³/h)	73
Période d'activité	Du 1er octobre au 31 mai

Les chaudières sont alimentées en eau potable provenant du réseau d'adduction. Un adoucisseur assure ensuite le traitement de l'eau avant introduction dans les chaudières. Le produit de traitement utilisé est stocké sur rétention à proximité de l'adoucisseur et est injecté en fonction des impulsions envoyées par le compteur.

Le schéma de principe du traitement de fumé et des résidus de la chaudière biomasse de la chaufferie de la zone puits est similaire à celui de la chaufferie de la zone descenderie ; pour mémoire, il est présenté en figure 3-35. Le traitement de fumées de combustion de la chaudière bois est un traitement classique des fumées à sec composé d'un multi-cyclone et d'un filtre à manches. Dans l'objectif de réduire les émissions de NOx sous le seuil autorisé, une solution d'urée à 32,5 % est utilisée.

L'évacuation des fumées de combustion de la chaudière bois se fait par une cheminée de 14 mètres, tandis que les trois conduits d'évacuation des chaudières gaz sont regroupés en une cheminée unique haute de 11 mètres.

Le bâtiment chaufferie est haut de 8 mètres, à l'exception du local chaudières gaz qui a une hauteur de 5 mètres (cf. Figure 3-35).

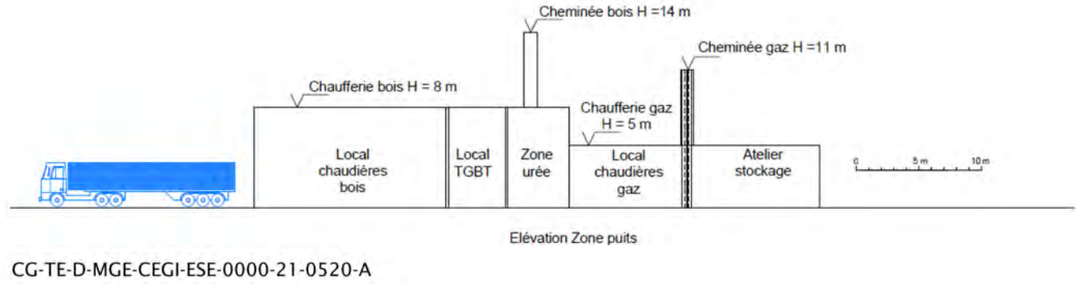


Figure 3-63 Vue en coupe de la chaufferie de la zone puits

Le stockage bois de la chaufferie se fait dans une fosse qui se trouve dans le bâtiment chaufferie ; cette fosse est similaire à celle de la chaufferie de la zone descenderie (cf. Figure 3-37). Cette fosse de 3 mètres de profondeur est associée à un dispositif d'extraction par fonds racleur. Le fond enterré est en béton coupe-feu, au même titre que la partie aérienne. La livraison du bois s'effectue par camions.

Le stockage du gaz est dimensionné pour une autonomie de 72 heures. Le gaz est stocké dans un réservoir enterré commun aux différentes chaudières gaz de la chaufferie.

Le gaz est stocké sous forme liquéfié, avec une densité de 515 kg/m³ (densité du propane liquide à 15 °C), à une pression de 8 bars et une température de 25 °C. Le gaz est ensuite distribué aux différentes chaudières gaz à une pression de 4 bars (sous forme gazeuse) et une température de 25 °C (température ambiante).

Le gaz sera livré uniquement par camion-citerne d'une capacité de 20 tonnes (pas de conduite de gaz), la zone de dépotage étant située à proximité de la chaufferie.

d) La déchetterie industrielle conventionnelle

Cet ouvrage recueille les déchets conventionnels d'exploitation de la zone puits.

Il permet la collecte et le tri des déchets avant transfert vers la déchetterie industrielle conventionnelle de la zone descenderie.

Cet ouvrage est constitué d'un hangar et d'une plateforme extérieure équipée de différentes bennes qui recueillent les déchets collectés.

3.2.4.5.2 La zone « d'accueil travaux »

a) Les installations pour la production de béton

Les travaux souterrains nécessitent la mise en œuvre de béton dont la quantité et le contrôle de qualité nécessitent la production sur place. La préparation du béton est réalisée à partir de plusieurs ouvrages. L'objectif est de positionner les premières opérations à proximité de l'approvisionnement en matières premières, en zone « travaux », et d'effectuer le mélange final à proximité du puits matériels et matériaux travaux.

Le stockage des granulats est réalisé dans un ouvrage en charpente métallique pouvant accueillir jusqu'à 4 000 m³ de matériaux. Les granulats sont acheminés vers la centrale à béton qui dispose d'un réservoir pour l'eau de gâchage ainsi que d'un bassin de récupération et de recyclage des eaux de laitance. Le mélange est envoyé par canalisation vers le bâtiment de malaxage.

b) L'atelier de maintenance et magasin associés aux activités travaux

Un bâtiment implanté sur la zone « travaux » assure l'accueil du personnel et le stockage d'outils et de matériels permettant la maintenance des moyens de soutien des activités de travaux souterrains. Il comprend un atelier mécanique, des magasins de stockage, des espaces de travail, ainsi que des espaces communs.

3.2.4.6 Les caractéristiques des principaux ouvrages de surface de la zone puits

Les caractéristiques des principaux ouvrages de surface de la zone puits sont regroupées dans le tableau suivant. Sont également présentés dans ce tableau les surfaces des aires de stationnement ainsi que des voiries et plateformes associées.

Tableau 3-10 Récapitulatif des ouvrages les plus importants de la zone puits

Zone concernée	Ouvrages concernés	Dimensionnement (hauteurs/volumes) approximatif	Surface au sol (m²)
Zone puits travaux et verses	**Puits travaux :**		
	• Puits « ventilation air frais travaux » (VFT)	H variant entre 5 mètres à 8 mètres pour les bâtiments et ≈45 mètres pour le chevalement	≈4 500
	• Puits « ventilation air vicié travaux » (VVT)	H ≈ 8 mètres pour les bâtiments et ≈ 10 mètres pour la cheminée	≈1 600
	• Puits « matériel et matériaux travaux » (MMT)	H ouvrage ≈ 12 mètres et ≈ 60 mètres pour chevalement	≈900
	Gestion des matériaux extraits « verses » :		
	• Verses - zone Z1	H ≈ 20 mètres maximum	≈600 000
	• Verses - zone Z2	H ≈ 20 mètres maximum	≈480 000
	• Bâtiment de gestion des verses	H ≈ 18 mètres	≈8 000
	Autres ouvrages :		
	Atelier de maintenance et magasins associés aux activités de travaux	H ≈ 10 mètres	≈1 200
	Zones de stockage matériels/matériaux	-	≈20 000
	Aires techniques/aires de stationnement PL	-	≈4 100
	Ouvrages de protection du site – Postes de garde	H ≈ 5 mètres	Quelques centaines de m²/poste à 1 000 m²
	Ouvrages de gestion des eaux des verses	cf. Chapitre 6.2.3.1.7 du présent volume	
	• Ouvrage de traitement	H ≈ 5 mètres	≈400
	• Bassin qualitatif	≈ 10 000 m³	Ouvrage enterré
	• Bassin quantitatif	≈ 47 000 m³ (Z1) à ≈ 64 000 m³ (Z1 + Z2)	Au global ≈ 28 000 m² (Z1) à 45 000 m² (Z1 + Z2)
Zone exploitation	**Puits exploitation :**		
	• Puits « ventilation air frais exploitation » (VFE)	H variant entre 5 mètres à 8 mètres pour les bâtiments et ≈ 45 mètres pour le chevalement	≈5 500
	• Puits « ventilation air vicié exploitation » (VVE)	H ≈ 8 mètres pour les bâtiments et ≈ 12 mètres pour la cheminée	≈1 100
	Installations de surface en soutien au fonctionnement :		
	Caserne secondaire	H ≈ 8 mètres	≈1 500
	Ouvrages amont de la lutte contre l'incendie	H ≈ 4 mètres pour les locaux pomperies	≈1 700
	Ensemble de postes de garde	H ≈ 5 mètres à 12 mètres	Quelques centaines de m²/poste à 1 300 m²
	Centrale de secours et poste de distribution 20 kV		≈2 200
	Atelier et magasin support à l'exploitation	H ≈ 9 mètres	≈1 000
	Ouvrages de gestion des eaux ;	cf. Chapitre 6.2.3.1.7 du présent volume	
	• Stations d'épuration		≈800
	• réservoirs de stockage des eaux recyclées	≈200 m³ et 1 600 m³	Ouvrages enterrés
	• Bassins de décantation des eaux de fond	≈1 300 m³	≈1 000
	• Bassins qualitatifs	≈10 000 m³	≈10 000
	• Bassins quantitatifs	≈54 000 m³	≈30 000
Zone administrative	Parking silo	H ≈ 15 mètres	≈3 500
	Bâtiment tertiaire	H ≈ 15 mètres	≈3 600
	Restaurant d'entreprise	H ≈ 10 mètres	≈600
	Atelier de maintenance	H ≈ 9 mètres	≈1 500

Zone concernée	Ouvrages concernés	Dimensionnement (hauteurs/volumes) approximatif	Surface au sol (m²)
Zone utilités	Poste de livraison électrique RTE (90 kV)	H ≈ 10 mètres	≈9 000
	Transformation et distribution électrique	H ≈ 7 mètres	≈1 600
	Ouvrages participants au fonctionnement du réseau d'eau potable	≈150 m³	-
	Bâtiment de production des utilités : • Production d'eau chaude • Production d'eau « glacée » • Sous-stations et équipements électriques	H bâtiments variables ≈ de 4 mètres à 10 mètres H cheminées variables ≈ de 11 à 14 mètres	≈3 700
	Déchetterie industrielle conventionnelle	-	≈3 000
	Installations pour la production de béton	H ≈ 18 mètres	≈1 500
	Atelier de maintenance et magasins associés aux activités de travaux	H ≈ 10 mètres	≈2 500
Voiries et plateformes associées	Réparties sur le site		≈160 000

3.2.5 La zone d'implantation des ouvrages souterrains

3.2.5.1 La présentation générale de la zone d'implantation des ouvrages souterrains

Les ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo sont déployés progressivement au sein de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS). Le déploiement progressif des ouvrages souterrains, par tranches, c'est-à-dire par groupes d'ouvrages, se fera sous réserve du respect des jalons décisionnels qui seront fixés par l'ASN.

Les ouvrages dédiés au stockage des colis sont implantés dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien à une profondeur d'environ 500 mètres. Des liaisons surface-fond (puits et descenderies) relient la zone descenderie et la zone puits, décrites précédemment, aux parties de l'installation souterraine implantées dans cette couche de roche.

La zone d'implantation des ouvrages souterrains s'étend sur environ 29 km² (cf. Figure 3-64). Elle est située sur les communes listées dans le tableau 3-11 ci-après. Aucune habitation n'est située à l'aplomb de cette zone.

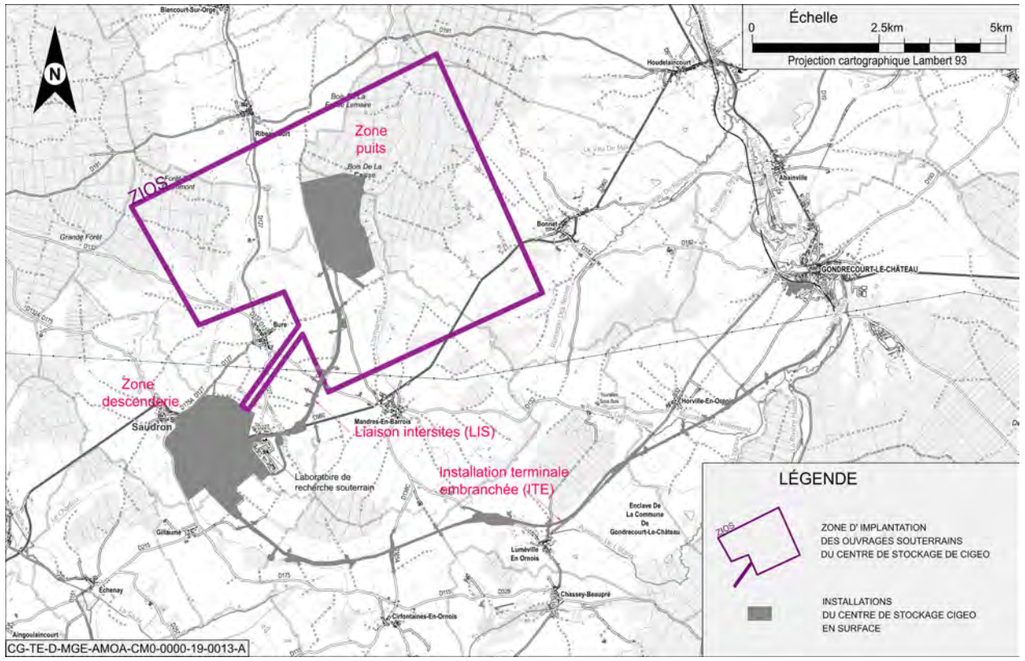


Figure 3-64 Localisation de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

Tableau 3-11 *Communes à l'aplomb de la zone possible de déploiement des ouvrages souterrains de stockage*

Département	Commune	Zone du centre de stockage Cigéo
Meuse (55)	Mandres-en-Barrois	Descenderies/puits et zones de stockage
	Bonnet	Zones de stockage
	Bure	Descenderies et zones de stockage
	Ribeaucourt	Déploiement possible de l'installation souterraine à terminaison
	Houdelaincourt	
	Saint-Joire	

La zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) comprend à terminaison des ouvrages (cf. Figure 3-65) des zones de stockage, organisées en trois quartiers d'alvéoles de stockage (cf. Chapitre 3.2.5.4 du présent volume) suivant les caractéristiques des colis de déchets HA et MA-VL :

- un quartier pilote HA accueillant des colis de haute activité notamment des colis HA0 dégageant peu de chaleur) :
- un quartier de stockage de colis de déchets radioactifs MA-VL (accueillant des colis de moyenne activité à vie longue) ;
- un quartier de stockage, pour le stockage de colis de haute activité dits « HA1/HA2 » à l'horizon de 2080 après entreposage de décroissance thermique, de colis HA0 et de certains colis de déchets MA-VL vitrifiés, utilisés comme intercalaires.

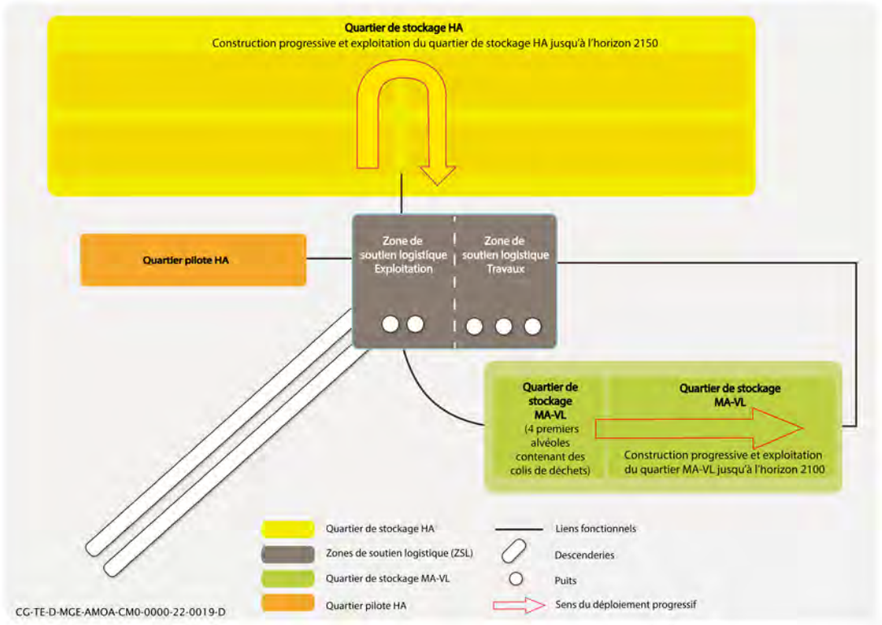


Figure 3-65 *Organisation générale des ouvrages souterrains à terminaison*

La zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) est associée à deux zones de soutien logistique (cf. Chapitre 3.2.5.3 du présent volume) :

- la zone de soutien logistique exploitation (ZSL-E), qui supporte les activités de la zone souterraine en exploitation, est reliée à la zone descenderie en surface par deux descenderies et à la zone puits par deux puits ;
- la zone de soutien logistique travaux (ZSL-T), qui supporte les activités de la zone souterraine en travaux et par laquelle transitent les équipements et les matériaux pour la construction des ouvrages souterrains, est reliée à la zone puits en surface par trois puits.

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.

Toutes les opérations sur les colis dans la zone d'implantation des ouvrages souterrains sont automatisées et suivies par vidéo-surveillance à partir de la salle de conduite centralisée localisée dans le bâtiment nucléaire de surface (cf. Chapitre 3.2.3.2 du présent volume).

La durée de la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo est d'ordre séculaire au cours de laquelle 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. Le retour d'expérience, apporté par la construction, l'exploitation et la surveillance des installations en service, contribue aux améliorations rendues possibles par les progrès scientifiques et technologiques pour les phases ultérieures.

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, etc.) sont séparés (cf. Figure 3-66).

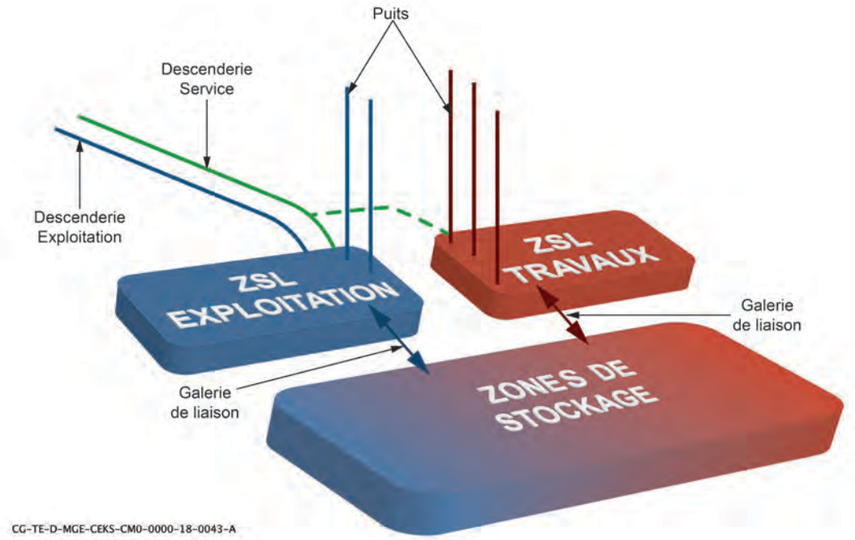


Figure 3-66 *Illustration du principe de séparation des différentes zones et liaisons surface-fond (dimensions et proportions des zones non représentatives)*

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, de galeries et de fermeture de quartiers de stockage pourront également être réalisés pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage en respectant la même logique de séparation des activités.

3.2.5.2 Les liaisons surface-fond

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB En souterrain, zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

Les liaisons surface-fond (LSF) permettent de relier :

- la zone descenderie à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) ;
- la zone puits à la zone de soutien logistique travaux (ZSLT).

Elles sont constituées par :

- deux descenderies (tunnels inclinés) reliant la zone exploitation de la zone descenderie (cf. Chapitre 3.2.3.2 du présent volume) à la zone de soutien logistique exploitation ;
- cinq puits dont :
  - ✓ deux puits verticaux reliant la zone exploitation de la zone puits (cf. Chapitre 3.2.4.3 du présent volume) à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) ;
  - ✓ trois puits reliant la zone puits travaux et verses de la zone puits (cf. Chapitre 3.2.4.2 du présent volume) à la zone de soutien logistique travaux (ZSLT).

La construction des liaisons surface-fond est réalisée de manière à permettre le démarrage de la tranche T1. Les liaisons surface-fond sont entièrement construites pour la descente du premier colis.

3.2.5.2.1 La descenderie colis

a) Localisation

La descenderie colis (DSC) est dédiée au transfert des colis de déchets (dans leur hotte de transfert) depuis le bâtiment nucléaire de surface EP1 jusqu'aux installations souterraines de stockage. Elle possède sa propre émergence en surface dans la zone exploitation de la zone descenderie dénommée « tête de la descenderie colis » (cf. Chapitres 3.2.3.2 et 3.2.3.2.1 du présent volume). Elle est reliée, en souterrain, à la zone de soutien logistique exploitation dite ZSLE (cf. Chapitre 3.2.5.3.1 du présent volume). Sa localisation est présentée sur la figure 3-67.

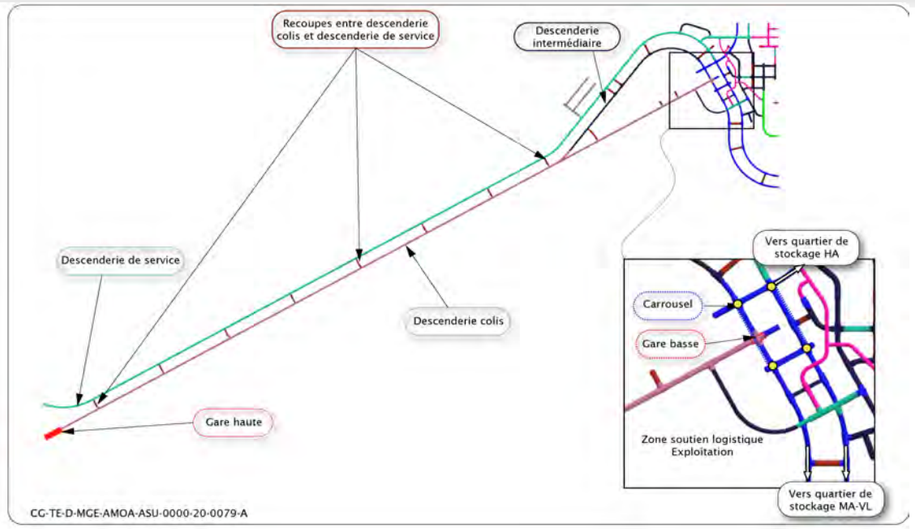


Figure 3-67 Localisation des ouvrages de la descenderie colis

b) Activités

La descenderie colis et son carrousel permettent :

- le transfert des colis de déchets (placés dans leur hotte) depuis l'installation de surface vers les ouvrages souterrains de stockage, au travers des sous-fonctions suivantes :
  - ✓ chargement des hottes en gare haute de la descenderie colis ;
  - ✓ transfert des hottes dans le tunnel de la descenderie colis *via* un funiculaire ;
  - ✓ déchargement des hottes en gare basse de la descenderie colis ;
  - ✓ transfert des hottes au travers du carrousel dans la zone de soutien logistique exploitation qui distribue ensuite les hottes vers les galeries de liaison, au sein desquelles elles sont déplacées à l'aide de chariots de transfert fond ;
- la ventilation de la descenderie colis et de son carrousel ;
- la circulation et la maintenance des installations au travers d'un cheminement sécurisé pour le personnel ;
- le retour des colis de déchets (placés dans leur hotte) depuis les ouvrages souterrains de stockage vers l'installation de surface, par inversion du processus de transfert.

c) Description

La descenderie colis, d'une longueur totale d'environ 4 200 mètres, présente une pente de 12 %. Elle est creusée selon une trajectoire rectiligne (cf. Figure 3-68) depuis la gare haute du funiculaire (tête de descenderie colis) jusqu'à la gare basse du funiculaire (ouvrages souterrains de stockage).

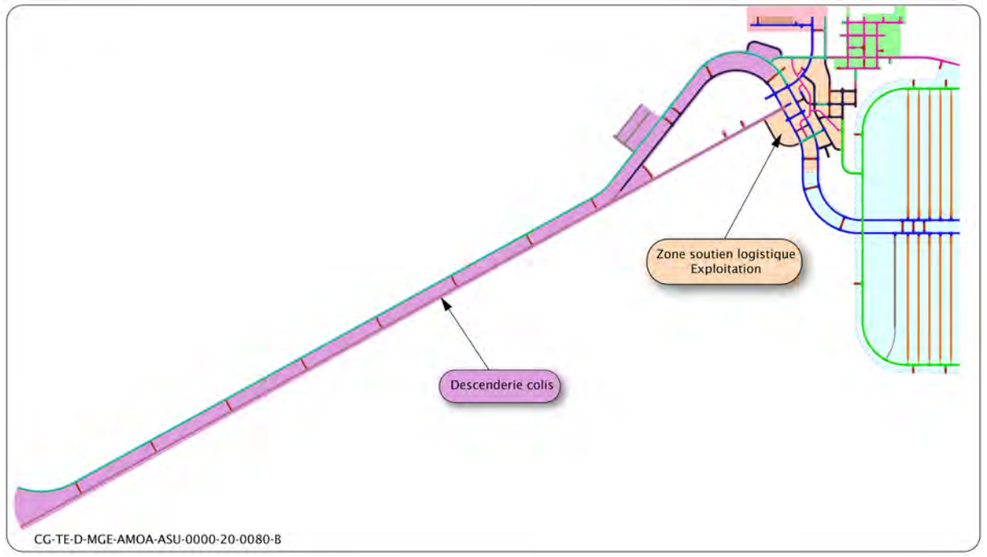


Figure 3-68 Localisation des ouvrages de la descenderie colis et de la ZSL Exploitation (à terminaison)

La descenderie colis est composées de trois parties principales (cf. Figure 3-69) :

- la tête de descenderie colis, reliée à l'installation nucléaire de surface, et qui intègre la gare haute ainsi que la zone de maintenance et machineries ;
- le tunnel de la descenderie colis (zone de circulation du funiculaire) ;
- le pied de descenderie colis, relié aux ouvrages souterrains de stockage, qui intègre la gare basse et la zone de renvoi du câble du funiculaire.

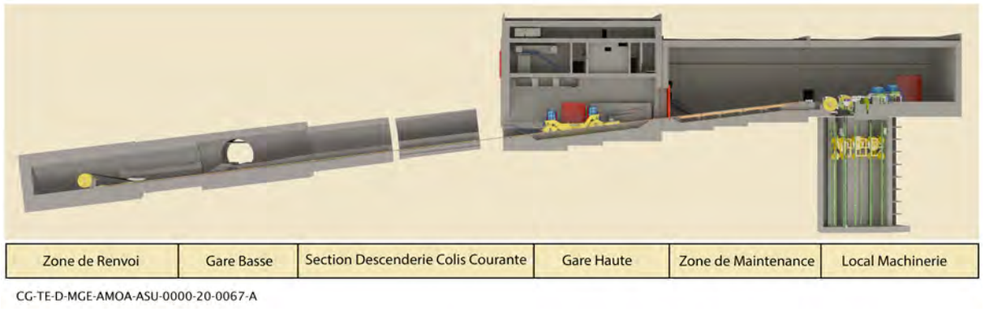


Figure 3-69 Coupe transversale de la descenderie colis et du système funiculaire

3.2.5.2.2 La descenderie de service

a) Localisation

La descenderie de service (DSS) est utilisée pour les opérations de maintenance ainsi que pour les opérations d'évacuation et de secours. Elle possède sa propre émergence en surface dans la zone de descenderie. Elle est reliée, en souterrain, à la zone de soutien logistique exploitation dite ZSLE (cf. Chapitre 3.2.5.3.1 du présent volume). Sa localisation est présentée sur la figure 3-70.

Figure 3-70 Descenderie service : vue en plan

b) Activités

La descenderie service permet :

- la ventilation de l'installation souterraine (extraction d'air - pendant la phase de fonctionnement, la ventilation des descenderies est ascendante en pleine section. Elle est assurée par soufflage depuis le plénum de ventilation en ZSLE) ;
- le passage et l'alimentation électrique HTA pour la zone souterraine ;
- le contrôle les flux et l'accès du personnel et des visiteurs ;
- le contrôle les flux et l'accès des matériels/matériaux et véhicules ;
- le cheminement sécurisé pour le personnel ;
- l'accueil des moyens de maintenance :
  - ✓ accès à la descenderie colis *via* les recoupes techniques ;
  - ✓ effectuer les opérations de maintenance ;
- les opérations d'évacuation et de secours.

c) Description

La descenderie de service est composée de 3 parties :

- la tête de descenderie service est reliée aux installations nucléaires de surface ;
- le corps des descenderies est creusé en parallèle au moyen de deux tunneliers, sachant que :
  - ✓ hors Callovo-Oxfordien, les ouvrages au tunnelier sont conçus drainants avec un soutènement/revêtement rigide ;
  - ✓ dans le Callovo-Oxfordien, les ouvrages sont réalisés avec un soutènement/revêtement souple permettant d'absorber les déformations différées du terrain ;
  - ✓ l'ensemble n'est pas conçu étanche, la collecte et le renvoi des eaux d'exhaure s'effectue en pied de descenderie *via* la recoupe albraque ;
- le pied de la descenderie de service est relié à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE).

À noter que, en complément de leur fonction d'accueil des équipements électriques, des recoupes espacées tous les 400 mètres relient les deux descenderies distantes d'une cinquantaine de mètres, afin d'assurer des fonctions d'intervention en situation incidentelle ou accidentelle.

3.2.5.2.3 Les puits de liaison avec la zone travaux

a) Localisation

Les puits pour les travaux assurent la jonction verticale entre la surface et le souterrain (liaisons surface- fond). Ils constituent la liaison entre les installations de surface de la zone puits et les ouvrages souterrains. Ils permettent de desservir la zone de soutien logistique travaux dite ZSLT.

Les puits de la zone travaux comprennent les puits « ventilation air frais travaux » (VFT), « matériels et matériaux travaux » (MMT) et « ventilation air vicié travaux » (VVT) qui sont localisés en surface dans la zone puits travaux et en souterrain dans la zone de soutien logistique travaux dite ZSLT.

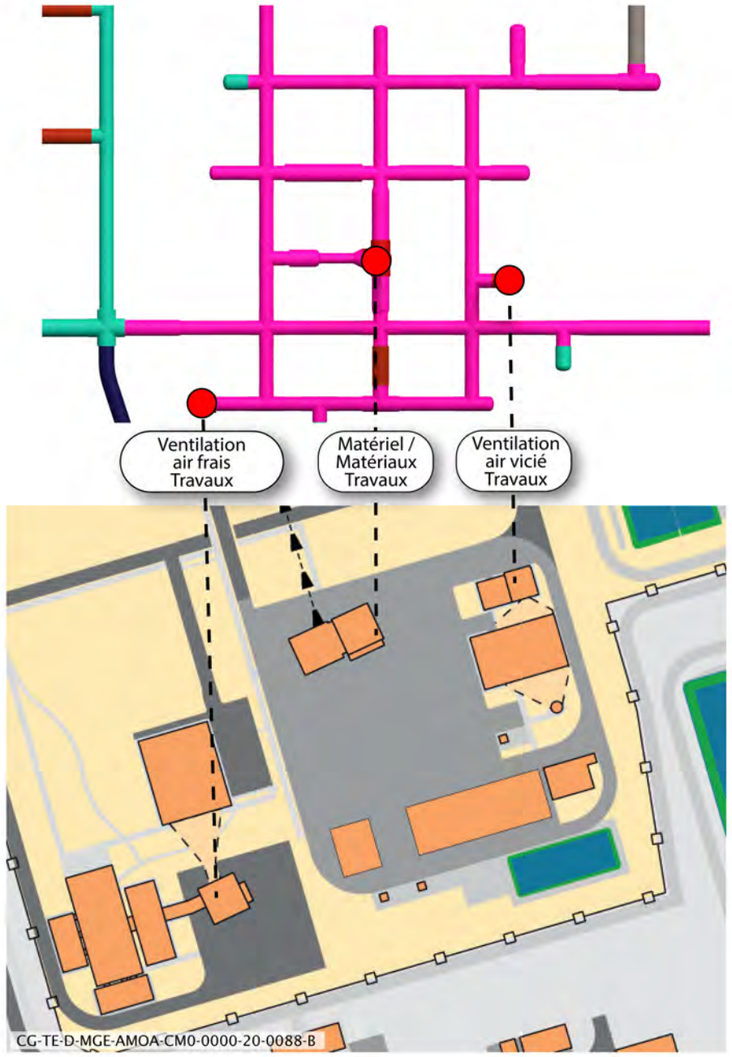


Figure 3-71 Correspondance fond/surface des puits travaux

b) Activités

Le puits « ventilation air frais travaux » (VFT) est exclusivement dédié à l'activité travaux de l'installation souterraine et permet :

- de transférer le personnel des installations de surface conventionnelles vers la zone de soutien logistique travaux ;
- de ventiler et d'alimenter en air frais les ouvrages souterrains en travaux par des unités de ventilations situées en surface.

Le puits « ventilation air vicié travaux » (VVT) est exclusivement dédié à l'extraction d'air vicié des galeries en activité travaux. Le puits est connecté aux unités de ventilation en surface.

Le puits « matériels et matériaux travaux » (MMT) est essentiellement dédié à l'activité travaux et permet :

- de transférer les équipements, les matériels et matériaux pour les travaux et équipements encombrants du process nucléaire ;
- d'acheminer vers la surface les déblais issus des excavations.

Ainsi :

- les matériels et matériaux entrants sont transférés par une cage nécessaire aux transferts de charges importantes tels que les toupies à béton, les équipements, et les moyens de manutention ;
- les flux de déblais travaux sortants sont extraits par le puits MMT *via* un skip d'extraction d'une capacité estimée à 2 850 m³/jour.

c) Description

Le puits « ventilation air frais travaux » (VFT) est associé à :

- un bâtiment de surface permettant d'accueillir les personnels travaux d'intégrer les 4 unités de ventilation et d'implanter des locaux techniques est associé au puits ;
- une machinerie destinée au levage des cabines est implantée dans un bâtiment situé au niveau du sol, sans tour apparente ;
- une cage principale (cabine) de 50 personnes est installée ainsi qu'une cage de secours de 8 personnes en cas d'incident.

Le puits « ventilation air vicié travaux » (VVT) est associé à un bâtiment de surface dédié au système de ventilation (4 unités de ventilation). Il ne possède pas de moyen de levage, les inspections sont assurées par des moyens de type nacelle.

Le puits « matériels et matériaux travaux » (MMT) est associé à :

- un bâtiment de surface intégrant un chevalement (60 mètres de hauteur) et un bâtiment technique ;
- une machinerie destinée au skip et au levage des cabines implantée dans un bâtiment avec une tour métallique ;
- une cage de secours de huit personnes en cas d'incident ; permettant aussi d'effectuer les opérations de maintenance du puits.

d) Réseau d'eaux d'exhaure des puits et étanchéité

Les parois des puits pour les travaux (VFT, VVT et MMT) sont étanches sur la partie la plus proche de la surface, jusqu'à la limite de la couche des Calcaires du Barrois. Par conséquent il est nécessaire de collecter et de gérer de manière quotidienne des eaux d'exhaure en fond du puits.

Pour ce faire, deux collecteurs récupèrent les eaux d'exhaure auprès d'une rigole annulaire située en zone basse du puits (cf. Figure 3-72). Ce réseau est ensuite dirigé vers l'albraque en cheminant par le plénum de soufflage et la descenderie de service.

L'écoulement de ces eaux d'exhaure depuis la limite du toit du Callovo-Oxfordien du puits ventilation air frais exploitation jusqu'à la recoupe albraque s'effectue par gravité.

Pour ces puits, des bulbes d'étanchéité (cf. Figure 3-72) sont mis en place au droit du toit du Kimméridgien et du toit du Callovo-Oxfordien afin de limiter la circulation d'eau dans les niveaux transmissifs des Calcaires du Barrois et des calcaires de l'Oxfordien.

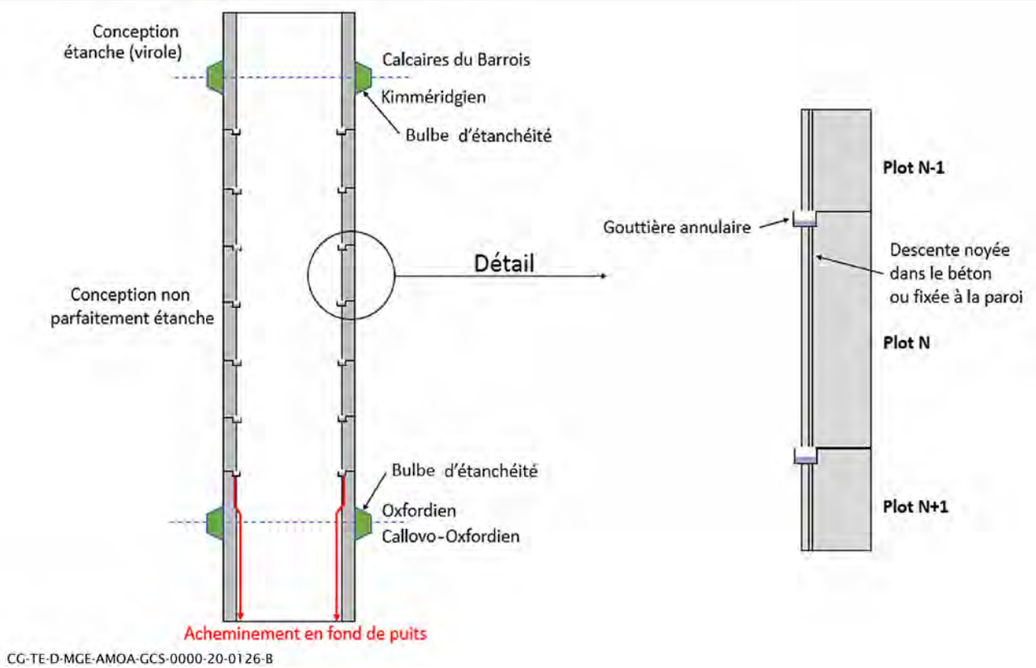


Figure 3-72 Schéma de principe de la collecte des eaux d'infiltration pour les puits travaux

Pour limiter la communication entre les aquifères, un premier bulbe d'étanchéité est mis en place au toit du Kimméridgien (entre l'avant puits et le puits). Pour limiter les arrivées d'eau dans le Callovo-Oxfordien, un second bulbe d'étanchéité est mis en place au toit de celui-ci. Ces bulbes d'étanchéité, installés dans l'ensemble des puits, se composent d'injections de collage et d'un composé bentonitique hydrogonflant placé à l'extrados d'un revêtement épais coulé en place. L'injection de collage permet de combler les vides de la zone endommagée par le creusement. Le composé bentonitique hydrogonflant permet de recomprimer le terrain sous la pression de bentonite pour en améliorer l'étanchéité.

Pour assurer que les puits ne fassent pas de court-circuit hydraulique entre les nappes traversées, on réalise un bulbe d'étanchéité lors du passage entre certaines couches géologiques. Une gouttière est mise en œuvre sous le bulbe afin de vérifier le bon fonctionnement de celui-ci. Cette gouttière sera reliée au réseau de récupération des eaux d'exhaure hors Callovo-Oxfordien.

3.2.5.2.4 Les puits pour l'exploitation

a) Localisation

Les puits pour l'exploitation assurent la jonction verticale entre la surface et le souterrain (liaison surface-fond). Ils constituent la liaison entre les installations de surface de la zone puits et les ouvrages souterrains. Ils permettent de desservir la zone de soutien logistique exploitation dite ZSLE.

Les puits de la zone exploitation comprennent les puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et « ventilation air vicie exploitation » (VVE) qui sont localisés en surface dans la zone exploitation de la zone puits et en souterrain dans la zone de soutien logistique exploitation dite ZSLE.

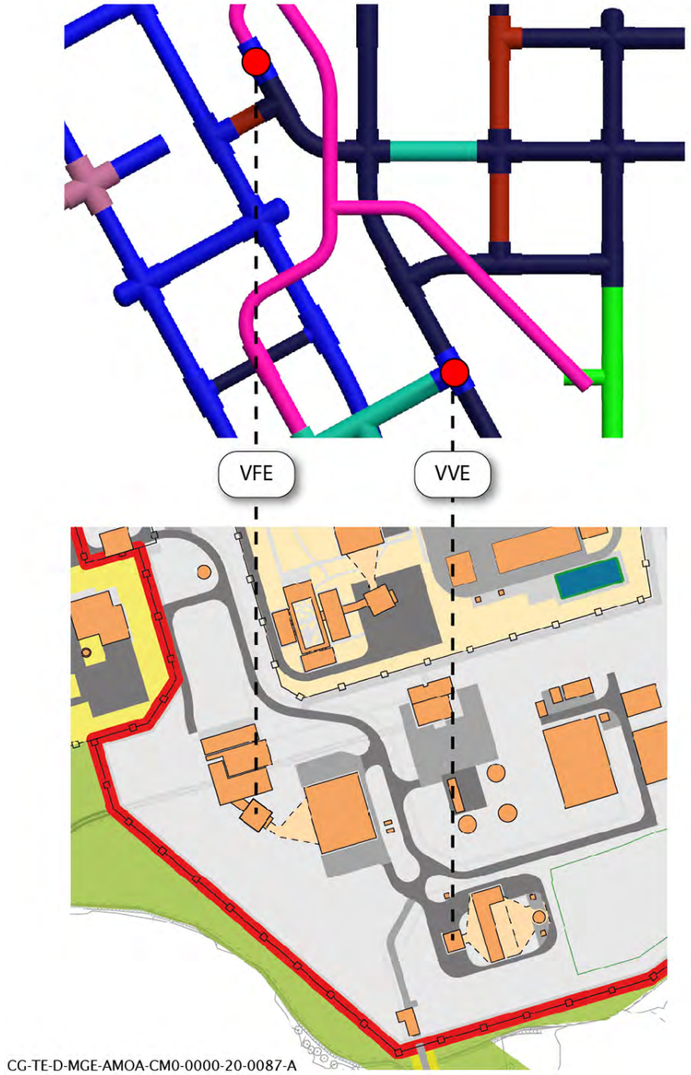


Figure 3-73 Correspondance fond/surface des puits d'exploitation

b) Activités

Les puits pour l'exploitation ont pour principale fonction de sûreté le maintien de l'évacuation des gaz de radiolyse en cas de séisme ou d'incident.

Le puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) est exclusivement dédié à l'exploitation et permet :

- de ventiler et d'alimenter en air frais les ouvrages souterrains par des unités de ventilations situées en surface ;
- de transférer le personnel dédié à l'exploitation et à la maintenance des installations de surface conventionnelles vers la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE).

Le puits « ventilation air vicié exploitation » (VVE) est exclusivement dédié au retour d'air vicié en zone d'exploitation par mutualisation des flux d'air issus de la ventilation souterraine d'ambiance réputée « propre » sur le plan radiologique (classement C1) et de la ventilation des alvéoles et cellules de manutention MA-VL (classement C2) filtré avant rejet. Le puits est connecté aux unités de ventilation de surface.

c) Description

Le puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) est associé à :

- un bâtiment de surface permettant :
  - ✓ d'accueillir le personnel d'exploitation et les vestiaires et lampisteries nécessaires ;
  - ✓ d'intégrer une usine de ventilation (cinq unités de ventilation et une prise d'air principale) ;
  - ✓ d'implanter des locaux techniques associé au puits ;
- une machinerie destinée au levage implantée dans un bâtiment situé au niveau du sol, sans tour apparente (système de chevalement, structure positionnée au-dessus du puits) ;
  - ✓ une cage principale (cabine) de 20 personnes ainsi que d'une cage de secours de 8 personnes utilisable en cas d'incident.

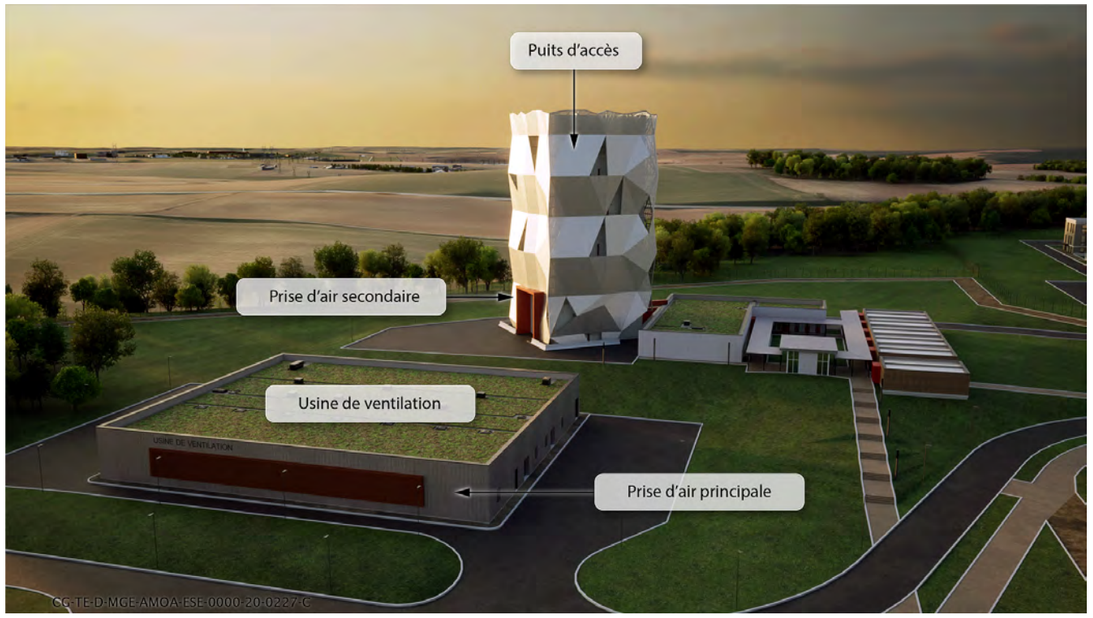


Figure 3-74 Perspective du puits ventilation air frais exploitation (VFE)

Le puits « ventilation air vicié exploitation » (VVE) est associé à :

- une usine de ventilation, qui possède cinq voies d'extraction d'air sur lesquelles est également appliqué un système de récupération d'énergie et est constituée d'un bâtiment semi-enterré abritant :
  - ✓ au niveau bas les ventilateurs, batteries/silencieux ;
  - ✓ aux niveaux hauts les locaux techniques et équipements de manutention sur trémies ;
- un bâtiment de surface intégrant les équipements (nacelle) pour l'inspection et la maintenance du puits et des locaux techniques.

Il n'est pas prévu de filtrer l'air vicié.

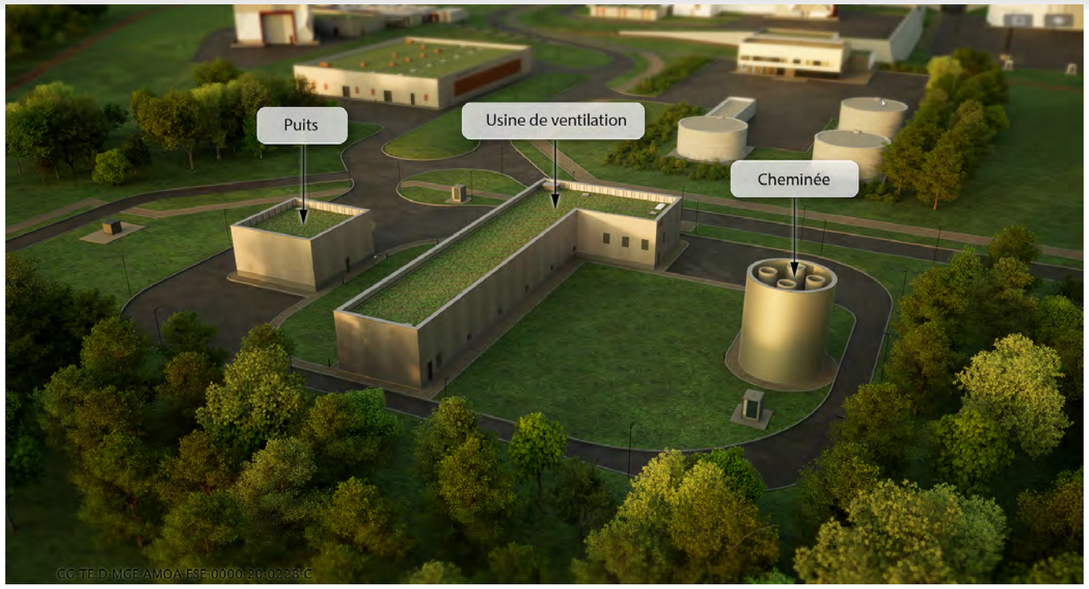


Figure 3-75 Perspective du Puits ventilation air vicié exploitation

d) Réseau d'eaux d'exhaure des puits et étanchéité

Le puits d'extraction d'air vicié (VVE) est étanche sur toute sa hauteur et n'est donc pas sujet aux infiltrations d'eaux d'exhaure. L'étanchéité est réalisée au moyen d'une virole métallique implantée dans le revêtement béton, cette disposition permet d'éviter le risque de migration d'éléments radioactifs en cas de situation incidentelle/accidentelle.

Dans le cas du puits de ventilation d'air frais (VFE), les parois sont étanches sur la partie la plus proche de la surface, jusqu'à la limite de la couche des Calcaires du Barrois. Par conséquent il est nécessaire de collecter et de gérer de manière quotidienne des eaux d'exhaure en fond du puits. Le principe de collecte est le même que celui mis en œuvre pour les puits travaux précédemment décrit (cf. Figure 3-72).

3.2.5.3 Les zones de soutien logistique

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB En souterrain, zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

Les zones de soutien logistique (ZSL) se décomposent en deux zones distinctes : une zone de soutien logistique dédiée aux travaux (ZSLT) et une zone de soutien logistique dédiée à l'exploitation (ZSLE).

La zone de soutien logistique exploitation (ZSLE), qui constitue l'interface entre les installations nucléaires de surface et les ouvrages de stockage en exploitation, supporte les activités de la zone souterraine en exploitation. Elle est reliée à la zone descenderie en surface par deux descenderies et à la zone puits par deux puits :

- la descenderie dite « descenderie colis » permet le transfert des colis de déchets radioactifs de la surface au fond pour leur mise en stockage. Ce transfert se fait au moyen d'un funiculaire ;
- la descenderie dite « descenderie de service », dédiée aux fonctions d'exploitation, permet de réaliser :
  - ✓ d'une part, les transferts liés à la maintenance et à l'acheminement de matériels et de matériaux.
  - ✓ d'autre part, les interventions d'urgence (accès aux secours) et l'évacuation des personnels, si besoin ;
- un premier puits permet l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation ;
- un second puits permet :
  - ✓ d'une part, l'apport d'air frais dans la zone souterraine en exploitation ;
  - ✓ d'autre part, le transfert du personnel, des équipements, matériels et matériaux vers la zone souterraine en exploitation.

La zone de soutien logistique travaux (ZSLT), qui constitue l'interface entre les installations de surface et les ouvrages souterrains situés hors zone INB en cours de construction, supporte les activités de la zone souterraine en travaux et par laquelle transitent les équipements et les matériaux pour la construction des ouvrages souterrains. Elle est reliée à la zone puits en surface par trois puits :

- un premier puits permet l'extraction d'air de la zone souterraine en travaux ;
- un second puits permet :
  - ✓ d'une part, l'apport d'air frais dans la zone souterraine en travaux ;
  - ✓ d'autre part, le transfert du personnel vers la zone souterraine en travaux ;
- un troisième puits permet le transfert des matériels et matériaux.

3.2.5.3.1 L'installation nucléaire : la zone de soutien logistique exploitation

La construction de la zone de soutien logistique exploitation est réalisée de manière à permettre le démarrage de la tranche T1. Les ouvrages de cette zone sont entièrement construits pour la descente du premier colis.

a) Localisation

La zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) constitue l'interface entre les installations nucléaires de surface et les ouvrages de stockage en exploitation.

La ZSLE est reliée au puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et au puits « ventilation air vicié exploitation » (VVE). Un plénum de ventilation creusé 20 mètres au-dessus des galeries de la ZSLE et relié à celles-ci par des puits verticaux, assure la distribution d'air frais. Un plénum d'air vicié creusé 20 mètres au-dessus des galeries de la ZSLE assure la collecte et l'évacuation de l'air vicié vers le puits ventilation air vicié exploitation.

La ZSLE est entièrement située dans la formation d'argilites du Callovo-Oxfordien.

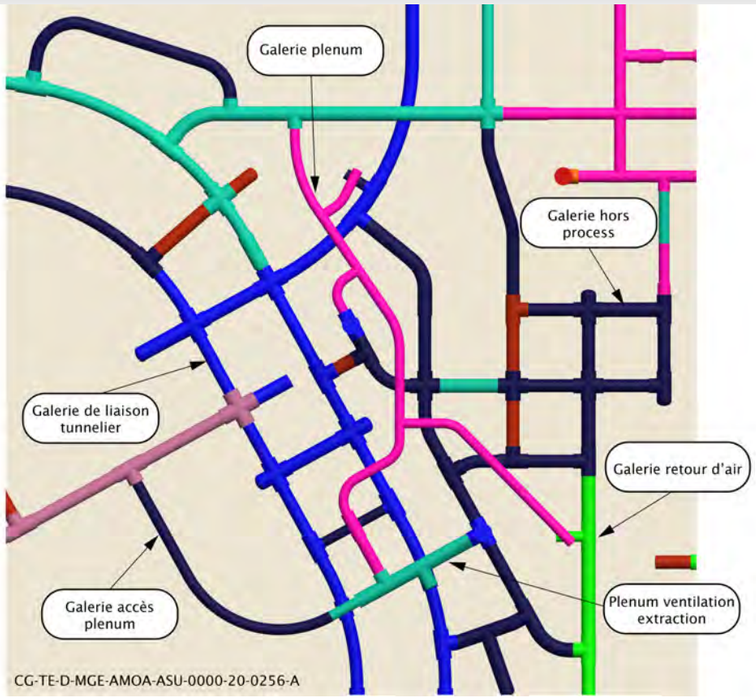


Figure 3-76 Vue en plan de la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE)

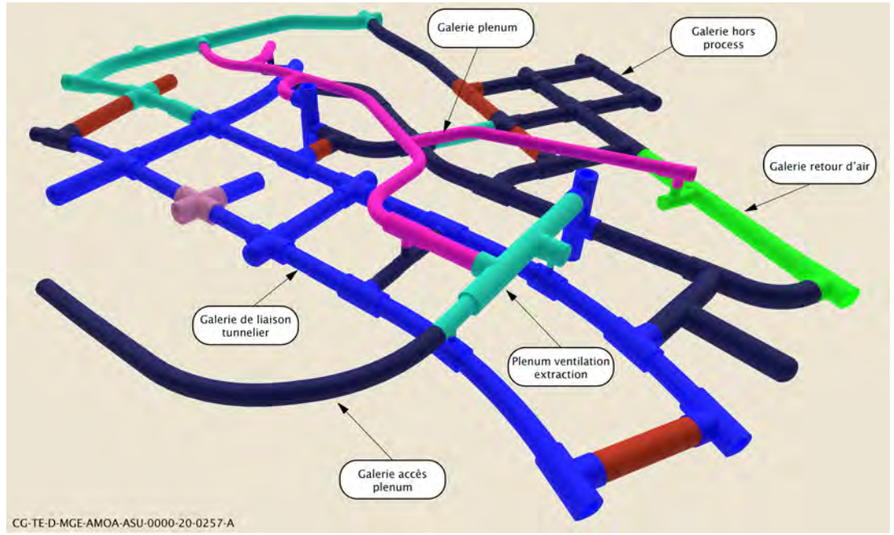


Figure 3-77 Vue en 3D de la zone de soutien logistique exploitation (ZSL-E)

[157] Le carrousel est l'interface entre la gare basse et les quartiers de stockage HA et MA-VL. Il est équipé de voies de roulement pour les chariots et de tables tournantes pour les changements de direction.

b) Activités

La ZSLE permet le bon fonctionnement du process de stockage des colis. Les colis arrivent au niveau de la ZSLE par la descenderie colis au moyen d'un funiculaire, dans un ouvrage appelé gare basse. Les colis sont ensuite déplacés du funiculaire vers un chariot de transfert. Selon la nature des colis, le chariot de transfert est orienté vers les galeries de liaison des quartiers MA-VL ou HA par l'intermédiaire de quatre tables tournantes disposées aux carrefours d'un carrousel[157].

La ZSLE permet :

- l'accueil et le stockage des véhicules exploitation de la zone fond ;
- le stockage du matériel nécessaire au process ;
- la maintenance des équipements process du fait de la possibilité :
  - ✓ de mettre à disposition les moyens de transfert des équipements jusqu'aux ouvrages de maintenance ;
  - ✓ d'entreposer et de tenir à disposition les équipements roulants non autonomes lorsqu'ils ne sont pas utilisés ;
- l'entreposage des véhicules de secours de la zone fond ;
- la circulation du personnel :
  - ✓ cheminement sécurisé des piétons ;
  - ✓ cheminement sécurisé des véhicules d'intervention (manutention, maintenance, secours) ;
  - ✓ mise à disposition de cheminement alternatif en cas d'impossibilité de circulation *via* le passage « courant » (maillage de la ZSLE) ;
- l'accueil, de manière sécurisée, du personnel dans l'attente de l'évacuation en cas de situation incidentelle/accidentelle ;
- l'accueil du personnel en exploitation pour les besoins fondamentaux de repos, d'hygiène et de premiers soins, une zone de confort et une zone sanitaire ;
- l'accueil des équipements d'alimentation électrique ;
- l'accueil des équipements de régulation de la température de la zone fond ;
- la gestion des effluents gazeux et le recueil des déchets solides et des effluents liquides conventionnels et radioactifs générés en exploitation et en maintenance par le centre de stockage Cigéo ;
- le transfert des déchets et effluents recueillis aux installations de gestion/traitement sur sites :
  - ✓ transfert des déchets induits solides aux installations de gestion/traitement sur sites ;
  - ✓ transfert des effluents induits liquides recueillis aux installations de gestion/traitement sur sites ;
  - ✓ évacuation des effluents induits gazeux ;
- le contrôle, la séparation, le trier, le traitement, le recyclage et le conditionnement des déchets conventionnels et des effluents induits.

c) Description

La zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) accueille les locaux et galeries nécessaires :

- d'une part à réaliser la transition du process nucléaire entre la descenderie colis et les quartiers de stockage : la hotte pleine arrive dans la ZSLE par la descenderie colis au moyen du funiculaire, qui stationne en gare basse, les hottes sont ensuite prises en charge par un chariot de manutention pour être orientées vers les galeries de liaison des quartiers MA-VL ou HA par l'intermédiaire de 4 tables tournantes disposées aux carrefours d'un carrousel ;
- d'autre part à permettre la gestion des flux annexes au process : flux de personnel, maintenance des équipements, refuge en cas d'urgence, etc.

La ZSLE accueille les locaux techniques nécessaires à la maintenance des chariots et des hottes ainsi que les équipements nécessaires pour une intervention en cas d'incident ou accident. Afin de limiter la présence du personnel dans les installations souterraines, seuls les locaux indispensables au process, au secours et aux opérations de maintenance courante sont implantés dans la ZSLE.

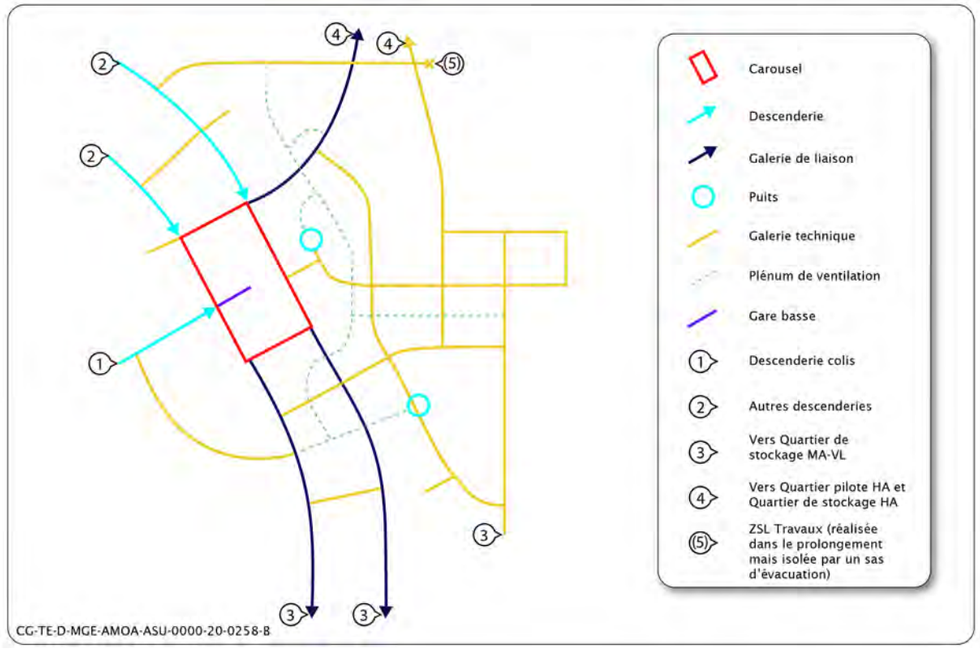


Figure 3-78 Architecture de la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE)

On y distingue les principaux ouvrages suivants :

- la gare basse ;
- le carrousel ;
- les galeries de liaison ;
- la galerie d'évacuation/secours ;
- les locaux techniques divers (local stockage/maintenance des matériels, local déchets d'exploitation, local électrique…) ;
- les plénums de ventilation ;
- les ouvrages verticaux de connexion entre la ZSLE et le plénum de ventilation.

3.2.5.3.2 L'installation non nucléaire : la zone de soutien logistique travaux

La construction de la zone de soutien logistique travaux est réalisée de manière à permettre le démarrage de la tranche T1. Alors que les ouvrages de la zone de soutien logistique exploitation ainsi que les liaisons surface-fond (puits et descenderies) sont entièrement construits pour la descente du premier colis, la construction des ouvrages de la zone de soutien logistique travaux débute lors de la période de construction initiale et se poursuit en phase exploitation.

a) Localisation

La zone de soutien logistique travaux (ZSLT) constitue l'interface entre les installations de surface et les ouvrages souterrains situés hors zone INB, en phase de construction ou d'essais pour les tranches ultérieures (post-T1).

La ZSLT est reliée au puits « ventilation air frais travaux » (VFT), « matériels et matériaux travaux » (MMT) et « ventilation air vicie travaux » (VVT).

La ZSLT est entièrement située dans la formation d'argilites du Callovo-Oxfordien.

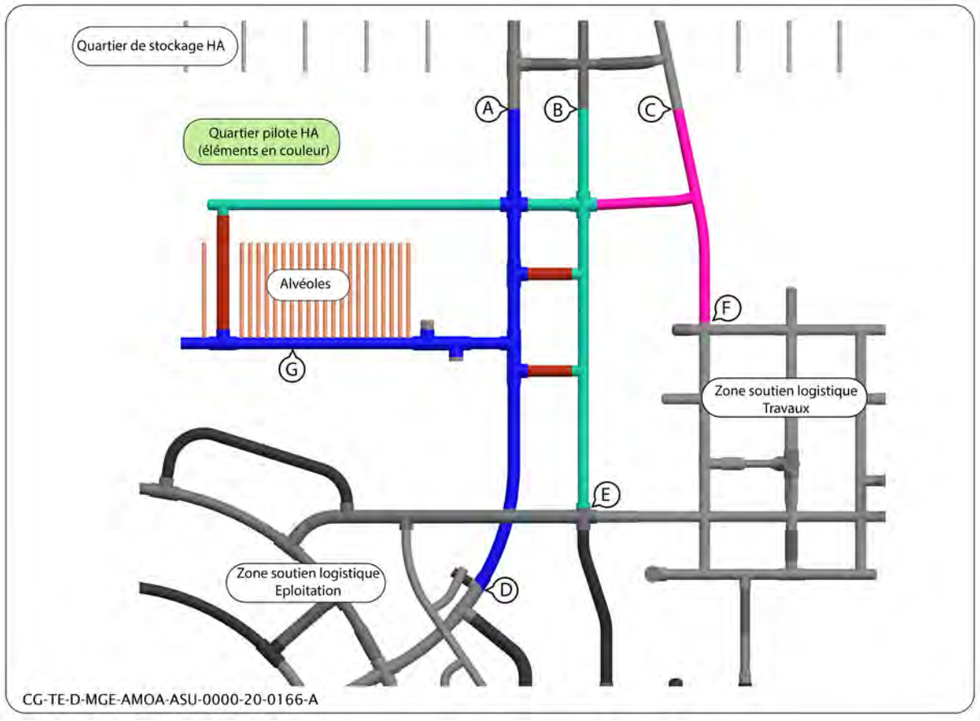


Figure 3-79 Périmètre de la zone de soutien logistique travaux (ZSLT) dans son environnement

b) Activités

La ZSLT permet le passage de nombreux flux pour la construction des ouvrages, notamment des tranches ultérieures (TU) : flux de personnel, flux de matériaux entrants (voussoirs, béton, béton projeté, armatures, graves et autres équipements utiles à la construction) et flux de matériaux sortants (marin, déchets de construction).

La ZSLT permet :

- de déployer graduellement les installations en toute indépendance vis-à-vis de la ZSLE et d'isoler les différentes sections pour permettre de :
  - ✓ maîtriser le risque incendie (sectorisation) ;
  - ✓ isoler la ZSLT de la partie Exploitation (sas) ;
- d'assurer le maintien et l'entretien du matériel et des équipements, le personnel pouvant alors :
  - ✓ procéder au lavage des engins de chantier :
  - ✓ réaliser la maintenance des équipements et gros matériels ;
  - ✓ recharger les moyens localisés en ZSLT (type chariot élévateur…) ;
  - ✓ faire le plein de carburant pour les véhicules de travaux ;
- d'assurer la circulation des flux :
  - ✓ accès, circulation et manœuvre des véhicules :

- de chantier ;
- d'intervention secours ;
- de maintenance ;
- d'apport de matières premières ;

✓ utilisation des véhicules par le personnel :

- garer les véhicules de travaux dédiés aux trajets d'équipes entre la ZSL et les ateliers ;
- garer le véhicule dédié au transport de visiteurs ;
- recharger les véhicules ;
- garer les véhicules d'évacuation, incendie et pompier ;
- permettre la circulation et manœuvre de ces véhicules ;

✓ gestion du marin ;

• de réunir les conditions nécessaires à la réalisation des travaux en souterrain en permettant au personnel :

✓ de ranger le matériel d'entretien (lubrification, petites pièces de rechange d'usage…) ;
✓ de ranger le petit outillage permettant les interventions quotidiennes d'entretien ;
✓ d''assoir et réaliser leurs opérations dans de bonnes conditions ;
✓ d'éclairer les postes de travail ;

• de réaliser l'intégration des réseaux (électriques et ventilation) et de leurs équipements ;
• de faire circuler l'air en section libre (renouvellement de l'air *via* les puits de ventilation air frais et air vicié travaux) ;
• de garer/positionner les toupies à béton à recharger et de produire du béton projeté :

✓ stocker les matières premières ;
✓ fabriquer le béton projeté ;
✓ charger les toupies à béton ;

• de faire circuler les piétons.

3.2.5.4 Les installations nucléaires de fond

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB En souterrain, zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

Le stockage des colis de déchets de moyenne activité à vie longue et de haute activité se fait respectivement au sein des installations nucléaires de fond dites ouvrages de stockage MA-VL et HA :

• le stockage des colis de déchets MA-VL est effectué au sein d'une même zone dans l'installation souterraine dénommée quartier de stockage MA-VL ;
• le stockage des colis de déchets HA est effectué au sein d'une même zone dans l'installation souterraine mais dans deux quartiers distincts :

✓ le quartier pilote HA, un premier quartier dédié au stockage de colis de haute activité (notamment des colis HA0 dégageant peu de chaleur) ;
✓ le quartier de stockage HA, composé de quatre sous-quartiers, permettant de recevoir des colis de haute activité dits « HA1/HA2 », des colis HA0 et certains colis de déchets MA-VL vitrifiés, utilisés comme intercalaires, et déployé ultérieurement, dans plusieurs décennies (mise en service envisagée à l'horizon 2080).

La position de ces quartiers de stockage des colis de déchets dans l'architecture souterraine est présentée sur la figure 3-80.

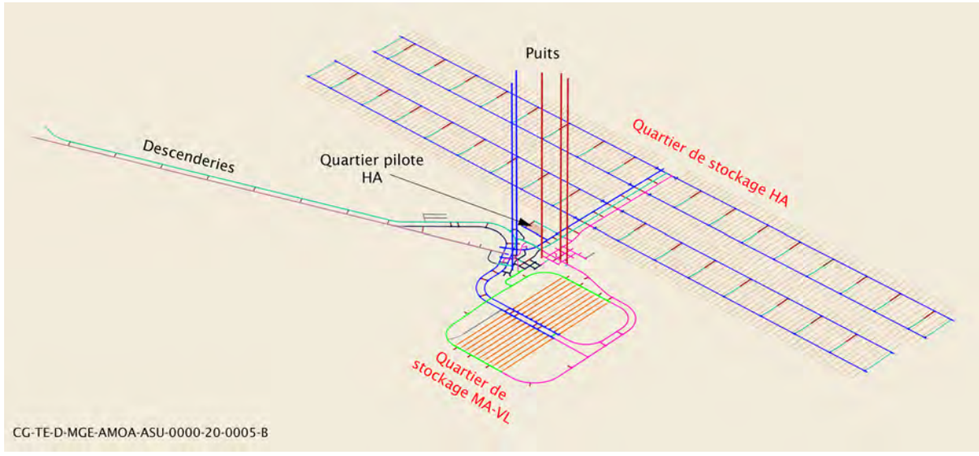


Figure 3-80 Position des quartiers de stockage des colis de déchets dans l'architecture souterraine

L'objet des chapitres qui suivent est de décrire ces ouvrages. Ils s'inscrivent dans la continuité des éléments développés dans les chapitres précédents, notamment dans le chapitre « La descenderie colis ».

3.2.5.4.1 Les ouvrages de stockage MA-VL

a) Le quartier de stockage MA-VL

Localisation

Le quartier de stockage MA-VL est relié, à l'ouest, à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE), et, au nord, à la zone de soutien logistique travaux (ZSLT) *via* les galeries d'exploitation et de travaux (cf. Figure 3-81).

Activités

Le quartier de stockage MA-VL est un regroupement d'alvéoles et de galeries utilisés pour l'activité de stockage de déchets de moyenne activité à vie longue.

Les activités mises en œuvre sont les suivantes :

• stocker les colis de déchets radioactifs :

✓ transférer les hottes jusqu'aux ouvrages de stockage :

- tenir à disposition les moyens de transfert des hottes jusqu'aux ouvrages de stockage ;
- charger/décharger les hottes sur les moyens de transfert ;
- effectuer les opérations de transfert des hottes ;

✓ placer les colis de stockage dans les ouvrages de stockage :

- tenir à disposition les emplacements de stockage ;
- tenir à disposition les moyens de mise en place des conteneurs de stockage ;
- ouvrir les alvéoles de stockage ;
- extraire les colis de stockage des hottes et les placer dans les alvéoles de stockage ;
- fermer les alvéoles de stockage ;

• recueillir les déchets et les effluents générés par l'exploitation des alvéoles du quartier de stockage MA-VL :

- ✓ contenir et recueillir les effluents liquides ;
- ✓ évacuer les effluents gazeux de l'alvéole.

Description

Le quartier de stockage MA-VL a une capacité d'environ 26 alvéoles (dont 4 en réserve) pour une capacité totale d'environ 167 000 colis primaires MA-VL stockés. Le quartier de stockage MA-VL est desservi en son centre par deux galeries de liaison, reliées par des recoupes et entourées par une galerie de ventilation, appelée « galerie de retour d'air ».

Ses différentes composantes sont présentées sur la figure 3-81.

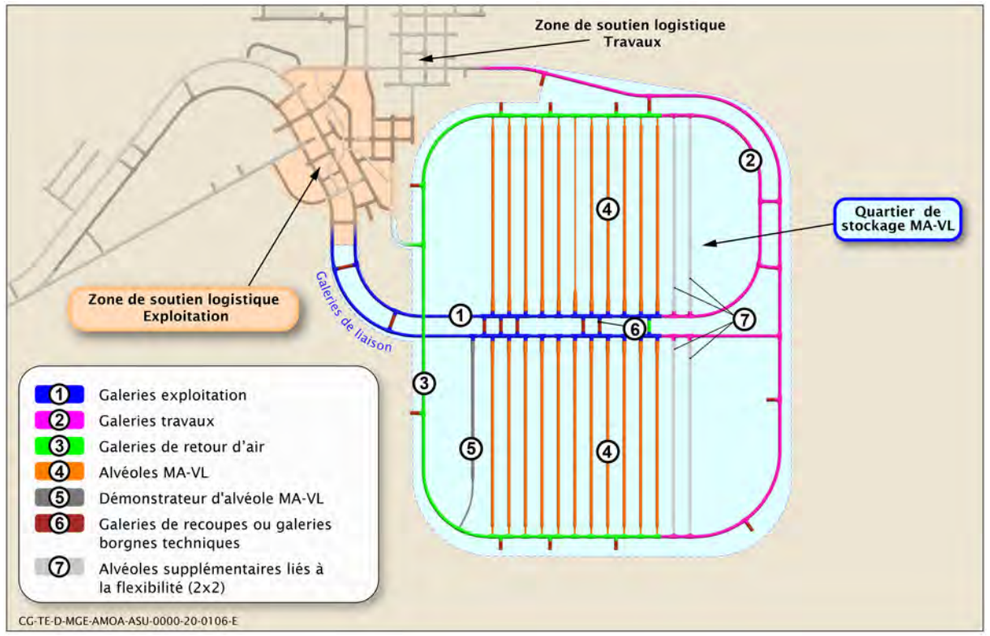


Figure 3-81 Localisation et illustration des ouvrages du quartier de stockage MA-VL à terminaison

Le quartier de stockage MA-VL se déploie progressivement en « chassant », c'est-à-dire que les alvéoles sont construits puis exploités en s'éloignant de la zone de soutien logistique exploitation.

b) Les alvéoles de stockage des colis MA-VL

Les alvéoles MA-VL, destinés au stockage des colis de déchet MA-VL, sont des tunnels orientés suivant la direction de la contrainte principale majeure. La pente maximale de l'alvéole en partie utile est d'environ 1 % (cf. Figure 3-82). La longueur des alvéoles du quartier de stockage MA-VL est, à ce stade, d'environ 500 mètres de longueur utile.

Les alvéoles sont connectés d'une part à la galerie de liaison *via* la galerie d'accès et la cellule de manutention, d'autre part à la galerie de retour d'air *via* la jonction de retour d'air.

La galerie de liaison voit circuler le chariot amenant la hotte (et donc le colis radioactif) au droit de l'alvéole de stockage choisi.

Les galeries de jonction de retour d'air et les galeries de retour d'air collectent l'extraction d'air des alvéoles.

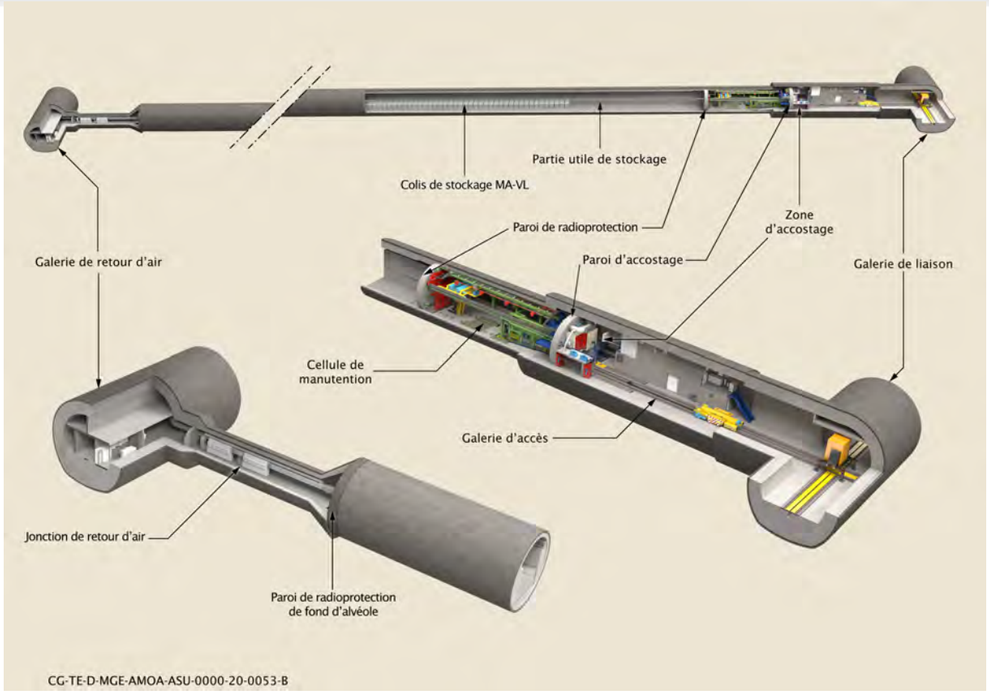


Figure 3-82 Illustration de l'alvéole MA-VL avec ses différentes parties

3.2.5.4.2 Les ouvrages de stockage HA

a) Le quartier pilote HA

Le quartier pilote HA, destiné à recevoir des colis de colis de haute activité et notamment des colis HA0 dégageant peu de chaleur, est construit et exploité plusieurs décennies avant la construction du quartier de stockage HA destiné à recevoir les colis de haute activité dits « HA1/HA2 », des colis HA0 et certains colis de déchets MA-VL vitrifiés, utilisés comme intercalaires. Le quartier pilote HA sert également de pilote industriel pour le futur quartier de stockage HA.

Sur la base des données issues d'un réseau instrumental d'acquisition et de surveillance des paramètres phénoménologiques d'évolution de ses composants, le quartier pilote HA permet d'acquérir un retour d'expérience permettant de conforter la conception, la réalisation et l'exploitation du quartier de stockage HA. Les connaissances acquises à petite échelle grâce au quartier pilote HA sont appliquées à grande échelle pour le quartier de stockage HA en termes de méthode constructive des alvéoles, de performance d'exploitation, de comportement du terrain et de la ventilation, du balayage, etc. Le retour d'expérience et les évolutions techniques sont également pris en compte.

Localisation

Le quartier pilote HA est relié, au sud, à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE), et, à l'est, à la zone de soutien logistique travaux (ZSLT) *via* les galeries de liaison exploitation, la galerie d'évacuation/secours et la galerie travaux (cf. Figure 3-83).

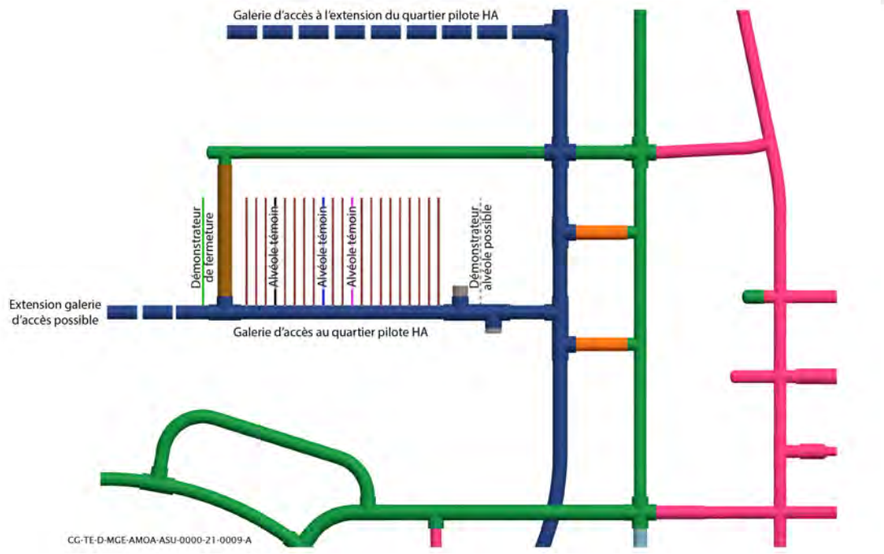


Figure 3-83 Illustration de la localisation du quartier pilote HA

Activités

Le quartier pilote HA et ses alvéoles de stockage permettent d'accueillir certains colis HA parmi les moins exothermiques.

Les activités mises en œuvre sont les suivantes :

- stocker les colis de déchets radioactifs ;
  - ✓ transférer les hottes jusqu'aux ouvrages de stockage :
    - tenir à disposition les moyens de transfert des hottes jusqu'aux ouvrages de stockage ;
    - charger/décharger les hottes sur les moyens de transfert ;
    - effectuer les opérations de transfert des hottes ;
  - ✓ placer les colis de stockage dans les ouvrages de stockage :
    - tenir à disposition les emplacements de stockage ;
    - tenir à disposition les moyens de mise en place des conteneurs de stockage ;
    - ouvrir les alvéoles de stockage ;
    - tenir à disposition les bouchons de radioprotection ;
    - extraire les colis de stockage des hottes et les placer dans les alvéoles de stockage ;
    - fermer les alvéoles de stockage ;
- recueillir les déchets et les effluents générés par l'exploitation des alvéoles du quartier pilote HA :
  - ✓ contenir et recueillir les déchets solides (dont les produits de corrosion) ;
  - ✓ contenir et recueillir les effluents liquides ;
  - ✓ évacuer les effluents gazeux de l'alvéole.

Description

Le quartier pilote HA comporte jusqu'à une vingtaine d'alvéoles, sans préjuger de développements ultérieurs intégrés dans le cadre du déploiement progressif du stockage, trois alvéoles témoins et un démonstrateur de fermeture pour une capacité totale d'environ 800 colis stockés.

Comme l'illustre la figure 3-84, le quartier pilote HA est composé :

- d'une galerie d'exploitation orientée est-ouest dite galerie d'accès ❶. Elle a pour fonction l'accès aux alvéoles HA et le transfert des colis jusqu'aux façades d'accostage des alvéoles HA qui s'y rattachent ;
- d'alvéoles de stockage, d'alvéoles témoins et de démonstrateurs ❷ ;
- d'une recoupe technique entre la galerie d'accès et la galerie d'évacuation/secours ❸. Cette recoupe accueille des locaux électriques nécessaires au bon fonctionnement des alvéoles du quartier ; elle permet également la circulation des personnes et des véhicules ;
- d'une galerie d'évacuation/secours ❹. Cette galerie ne contient pas d'équipement process mais permet d'assurer la possibilité d'évacuation et d'accès à toutes les galeries en cas de panne ou d'incident dans la galerie d'accès ;
- de deux niches en vis-à-vis ❺. Ces niches accueillent les équipements de gestion de l'atmosphère interne et des eaux d'exhaure ;
- d'une galerie de liaison, dite galerie de liaison exploitation, orientée nord-sud ❻. Cette galerie assure le lien entre le quartier de stockage et la zone de soutien logistique exploitation (ZSL-E), elle est prolongée dans une phase ultérieure pour joindre le quartier de stockage HA. Sa fonction principale est d'accueillir le transfert des colis jusqu'aux galeries d'accès et de permettre la circulation des personnes et des véhicules et le déploiement des réseaux ;
- d'une galerie d'évacuation/secours avec un rameau vers la galerie de liaison ❼. Cette galerie assure un bitube avec la galerie de liaison, elle permet d'assurer la possibilité d'évacuation et d'accès à toutes les galeries en cas de panne ou d'incident dans la galerie de liaison ;
- de deux locaux techniques électriques courants forts (CFO) ou courants faibles (CFI) ❽. Ces locaux accueillent des armoires électriques assurant la jonction entre le quartier pilote HA et la zone de soutien logistique exploitation (ZSL-E) ;
- d'une galerie travaux ❾. Cette galerie assure le lien entre le quartier pilote HA et la zone de soutien logistique travaux (ZSL-T).

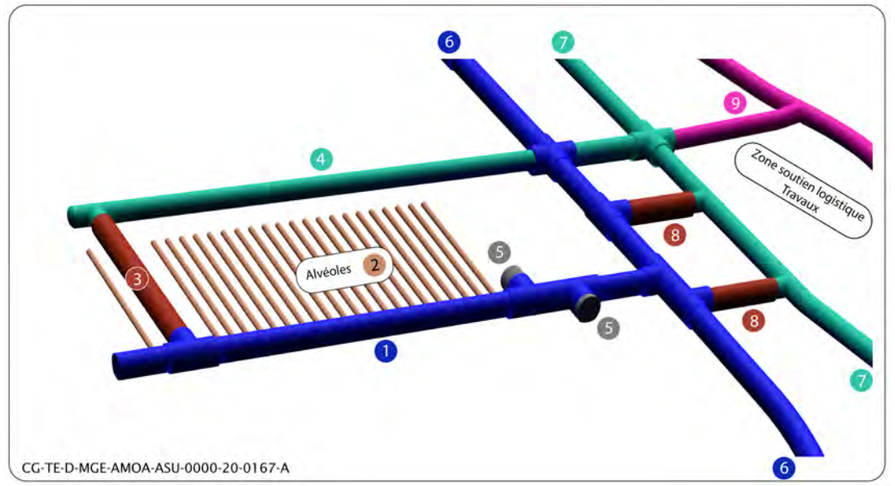


Figure 3-84 Illustration des ouvrages du quartier pilote HA

b) Le quartier de stockage HA

Le quartier de stockage HA se décompose en quatre sous-quartiers exploités les uns après les autres dans le sens horaire, depuis le sous-quartier 1 (au sud-ouest) jusqu'au sous-quartier 4 (au sud-est). Les sous-quartiers sont composés de modules dont le dimensionnement est adapté à chaque famille de puissance thermique. Le quartier de stockage HA comporte environ un millier d'alvéoles de stockage HA et des alvéoles témoins, répartis dans les quatre sous-quartiers constitués de deux galeries d'accès desservant les alvéoles de stockage.

Pour respecter le principe de séparation physique entre travaux et exploitation, le déploiement est fait par quartier. Chaque sous-quartier passe successivement d'une phase travaux à une phase exploitation.

Les sous-quartiers de stockage HA sont composés de plusieurs types d'ouvrages (ce. Figure 3-85) :

- galerie de liaison exploitation ❶ ;
- galerie de liaison évacuation/secours ❷ ;
- galerie de liaison travaux ❸ ;
- recoupes exploitation entre galeries de liaison ❹ ;
- recoupes évacuation/secours local technique CFO entre galeries de liaison ❺ ;
- recoupes évacuation/secours local technique CFI entre galeries de liaison ❻ ;
- galeries d'accès ❼ ;
- recoupes évacuation/secours local technique CFO/CFI entre galeries d'accès ❽ ;
- recoupe évacuation/secours entre galeries d'accès (extrémité du quartier) ❾ ;
- alvéoles ❿ ;
- niches pour la gestion des eaux d'exhaure ⓫.

La galerie liaison travaux est dédiée à la construction des ouvrages du quartier de stockage HA lors de son déploiement. Elle n'abrite aucune fonction d'exploitation sur l'ensemble des phases du projet. Cette zone est abordée dans le chapitre « Les zones de soutien logistiques ».

Les différentes galeries (liaison, évacuation/secours, travaux au centre du quartier ou galeries d'accès au sein d'un sous-quartier) sont reliées par des recoupes présentes *a minima* tous les 400 mètres. Une exploitation des galeries en quinconce permet d'accéder à l'ensemble des alvéoles.

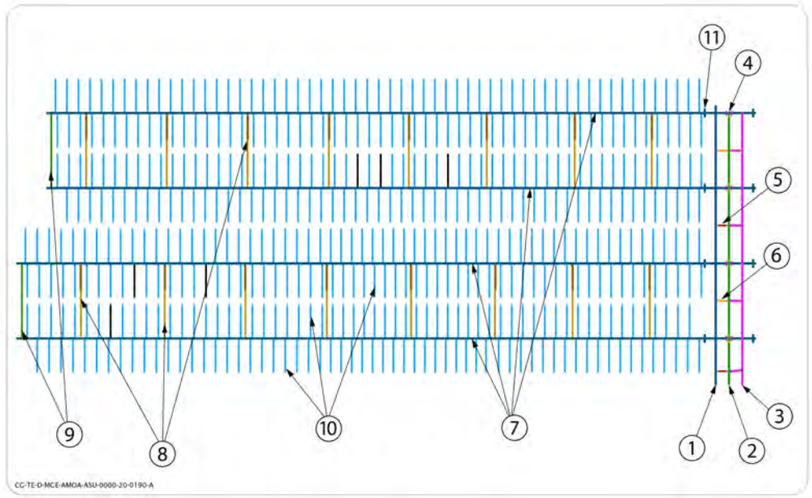


Figure 3-85 Illustration des ouvrages du quartier de stockage HA

c) Les alvéoles de stockage des colis HA

Les principes de conception des alvéoles du quartier de stockage HA sont à ce stade similaires aux principes de conception des alvéoles du quartier pilote HA (cf. Figure 3-86).

Les alvéoles du quartier pilote HA répondent à des principes de conception qui permettent de justifier le fonctionnement en exploitation et leur comportement durant la phase après fermeture des ouvrages :

- les alvéoles de stockage du quartier pilote HA ont, à ce stade, un diamètre excavé de l'ordre de 0,8 mètre et une longueur de 80 mètres environ avec une pente descendante (environ 2 %) vers la tête d'alvéole permet de recueillir les eaux d'exhaure ;
- le chemisage en acier cylindrique d'une épaisseur de l'ordre de 1 pouce soit environ de 25 mm, son diamètre est adapté au diamètre des colis, aux éventuels équipements internes et aux jeux fonctionnels pour permettre la mise en place et le retrait des colis ; il est de l'ordre de 26 à 30 pouces au stade actuel des développements et selon les standards industriels (environ 660 mm à 760 mm) ;
- l'alvéole est composé d'une tête d'alvéole et d'une partie utile au stockage contenant des colis de stockage composés d'un conteneur étanche contenant un ou deux colis primaires ;
- la tête d'alvéole est constituée pendant l'exploitation d'une bride, d'un bouchon de radioprotection d'exploitation pendant la phase de chargement de l'alvéole puis d'un bouchon de fermeture, dans l'attente de la fermeture définitive de l'alvéole ;
- l'espace annulaire entre le chemisage et les argilites du Callovo-Oxfordien est rempli par un matériau imposant des conditions d'environnement limitant la corrosion ;
- l'alvéole est équipé de dispositifs liés aux fonctions de surveillance, de balayage de l'atmosphère interne et de gestion des eaux d'exhaure.

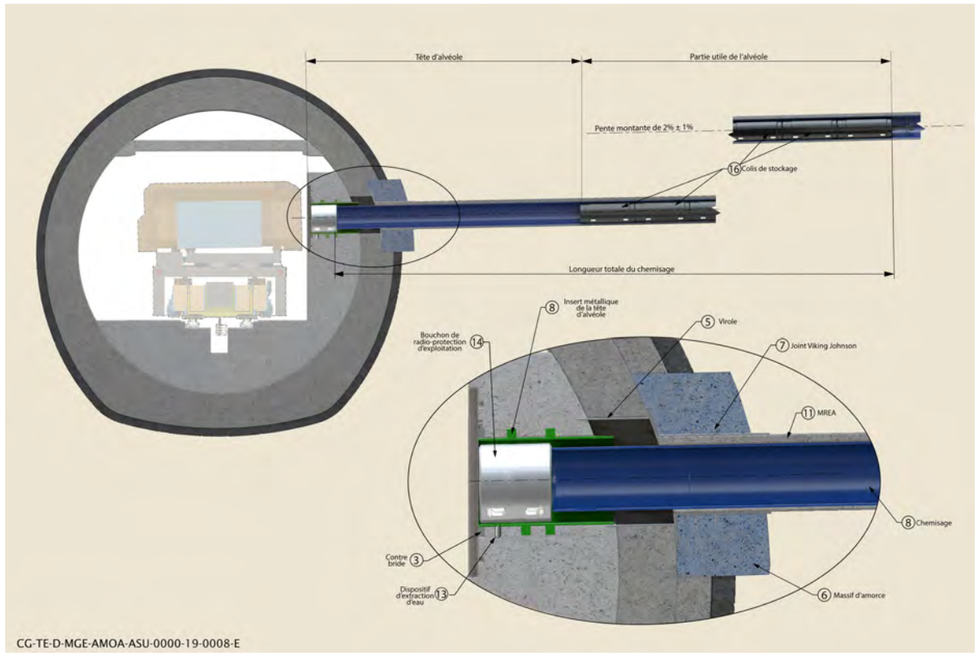


Figure 3-86 Vue en coupe d'un alvéole du quartier pilote HA

Après remplissage de l'alvéole, son entrée est obturée par un bouchon de fermeture. Celui-ci est composé de quatre éléments dont celui placé au plus proche du dernier colis stocké a une fonction de radioprotection (cf. Figure 3-87).

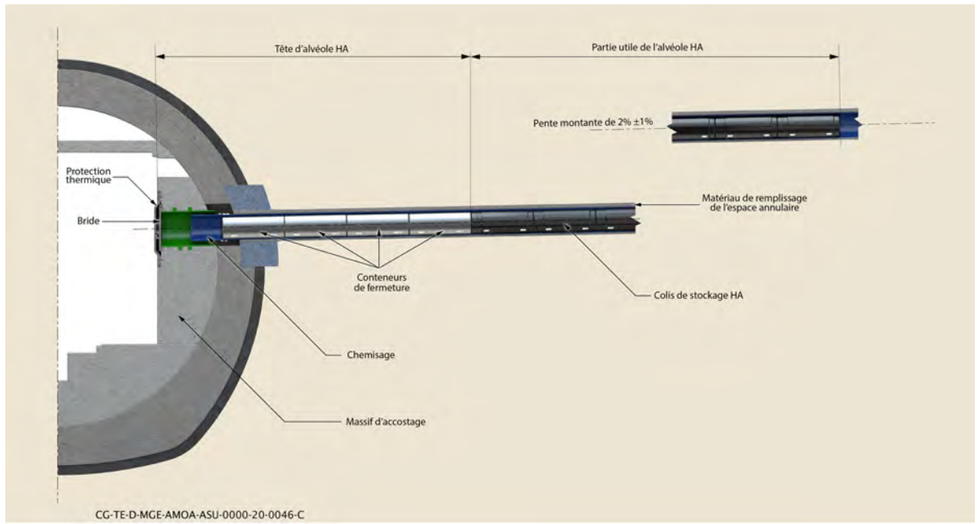


Figure 3-87 *Vue en coupe d'un alvéole du quartier pilote HA après mise en place du bouchon de fermeture*

Seule la longueur des alvéoles du quartier de stockage HA diffère ; elle est, à ce stade, de 150 mètres, sans préjuger des développements futurs (intégrant le retour d'expérience de l'exploitation du quartier pilote HA et des évolutions technologiques disponibles) qui pourraient être mises en œuvre d'ici sa mise en service envisagée à l'horizon 2080.

3.2.5.5 Les ouvrages de fermeture des ouvrages souterrains

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB En souterrain, zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS)

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 réalisera 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 sa phase de fonctionnement, les premières opérations d'obturation d'alvéoles et de galeries et de fermeture de quartiers de stockage peuvent être anticipées, si les générations en charge de l'exploitation du centre de stockage le décident. En pratique, ces opérations consistent au démontage des équipements d'exploitation et à la construction d'ouvrages, complémentaires de la barrière géologique, pour assurer le bon fonctionnement du stockage après sa fermeture définitive.

Le remblayage des galeries se réalise en réutilisant les déblais argileux excavés au moment du creusement et conservés en surface, appelées « verses vives » (cf. Chapitre 3.2.4.2 du présent volume).

Si des décisions de fermeture intervenaient pendant le fonctionnement, des ouvrages seraient réalisés pour :

- obturer les alvéoles de stockage ;
- remblayer les galeries ;
- sceller des galeries.

Pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, certaines installations de surface pourraient aussi être démantelées. La principale opération de démantèlement prévue avant la fermeture définitive concernerait l'installation EP1, en lien avec la fin du remplissage et la fermeture anticipée éventuelle du quartier de stockage MA-VL.

La proposition de schéma de fermeture graduel est décrite dans la « Pièce 13 – Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance » du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo (218).

Chaque quartier serait fermé en une seule et même opération regroupant la construction des ouvrages d'obturation de tous les alvéoles et le remblayage et le scellement des galeries. Cette disposition permet une organisation optimisée des travaux de fermeture.

Après la réception des derniers colis et la fermeture des quartiers, la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo, que seule une loi peut autoriser (article L. 542-10-1 du code de l'environnement), consiste à remblayer les dernières galeries de la zone de soutien logistique, à sceller et à remblayer les puits et les descenderies. Les installations de surface sont démantelées. Certaines d'entre elles perdureront pour les besoins de la phase de surveillance.

3.2.6 La liaison intersites

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo – Hors périmètre INB En surface, liaison intersites (LIS)

La liaison intersites, d'une surface totale de 46 ha dont 23 remaniés, 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 une bande transporteuse semi-enterrée (convoyeur de matériaux dit de plaine), toutes deux privées, ainsi que d'une route ouverte au public. Le plan de localisation de cette liaison intersites est présenté en figure 3-88.

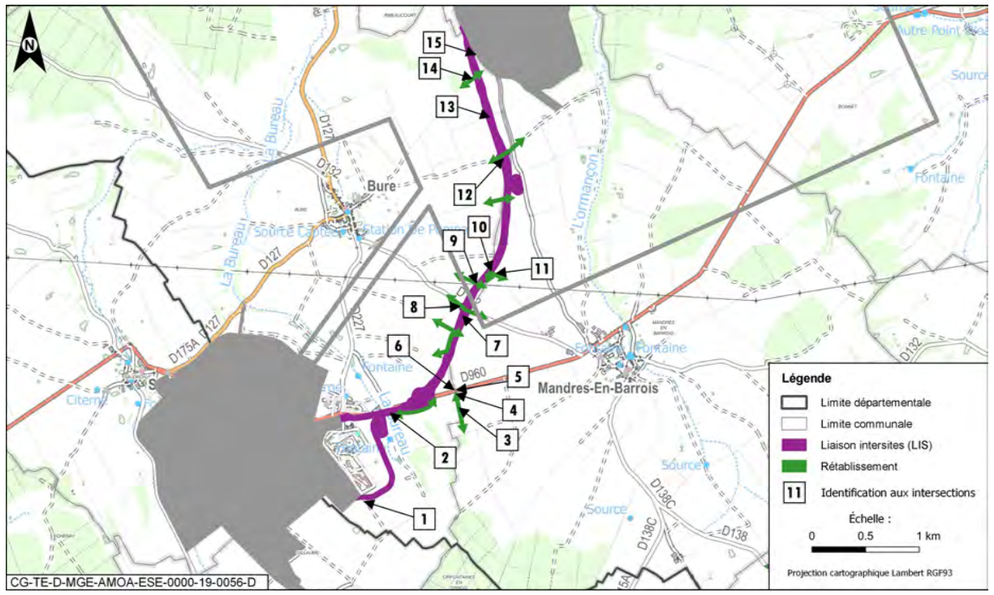


Figure 3-88 Localisation de la liaison intersites

Le tracé de cette liaison s'étend sur deux communes meusiennes (cf. Tableau 3-12).

Tableau 3-12 Région, département et communes traversés par le projet de liaison intersites

Région	Département	Commune	ITE
Grand Est : Alsace Champagne – Ardenne Lorraine	Meuse (Dép. 55)	Bure	Raccordement au sud – est et à l'est de la zone descenderie
		Bure	Section courante
		Mandres-en-Barrois	
		Bure	Raccordement au sud – ouest de la zone puits

La longueur totale des infrastructures privées de la liaison intersites s'élève à environ cinq kilomètres. La longueur totale de la route ouverte au public s'élève à environ quatre kilomètres.

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.

Les principaux éléments descriptifs la liaison intersites sont donnés ci-après. Néanmoins, les modalités d'exécution des travaux et de fonctionnement ne sont pas arrêtées. La liaison intersites fera encore l'objet d'études complémentaires. Par conséquent, ces éléments descriptifs seront précisés par l'Andra dans les versions ultérieures de l'étude d'impact. Ce chapitre sera alors actualisé.

Les deux infrastructures privées limitent les interférences des activités du centre de stockage Cigéo avec le réseau local de circulation.

Leurs fonctions sont :

- la circulation des poids lourds entre la zone puits et la zone descenderie (la LIS peut être rejointe depuis la route départementale D60/960) ;
- 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.

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 (cf. Photo de gauche sur figure 3-89) est implanté dans un caisson en béton armé, composé de deux murets recouverts par des dalles (cf. Photo de droite sur figure 3-89).



Figure 3-89 Exemple de convoyeur à bande en caisson béton

Les objectifs de la route ouverte au public sont :

- la desserte de la zone puits par le sud depuis la route départementale D60/960 pour les véhicules légers ;
- l'accès aux parcelles agricoles *via* les chemins ruraux interceptés par les deux infrastructures privées.

La route ouverte au public pourra être rétrocédée au Conseil départemental de la Meuse.

L'Andra ne prévoit pas de clôturer la liaison intersites considérant qu'elle est en partie publique et que les accès aux parcelles agricoles doivent être conservés.

3.2.7 L'installation terminale embranchée

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Centre de stockage Cigéo – Hors périmètre INB En surface, installation terminale embranchée (ITE)

L'installation terminale embranchée (ITE) du centre de stockage Cigéo comprend une infrastructure ferroviaire privée et une plateforme logistique.

Les principaux éléments descriptifs l'installation terminale embranchée sont donnés ci-après. Néanmoins, les modalités d'exécution des travaux et de fonctionnement ne sont pas arrêtées. L'installation terminale embranchée fera encore l'objet d'études complémentaires. Par conséquent, ces éléments descriptifs seront précisés par l'Andra dans les versions ultérieures de l'étude d'impact. Ce chapitre sera alors actualisé.

3.2.7.1 L'infrastructure ferroviaire

L'infrastructure ferroviaire privée de l'installation terminale embranchée, d'une surface totale de 121 ha dont 53 ha remaniés, permet de raccorder la zone descenderie du centre de stockage Cigéo au réseau ferré national (RFN). Le plan de localisation de cette infrastructure ferroviaire est présenté en figure 3-90.

Les objectifs de cette infrastructure sont :

- l'acheminement des colis de déchets radioactifs depuis les sites des producteurs ;
- l'acheminement des matériaux de construction au plus tôt pour alimenter les chantiers durant les différentes phases travaux de déploiement du centre de stockage Cigéo.

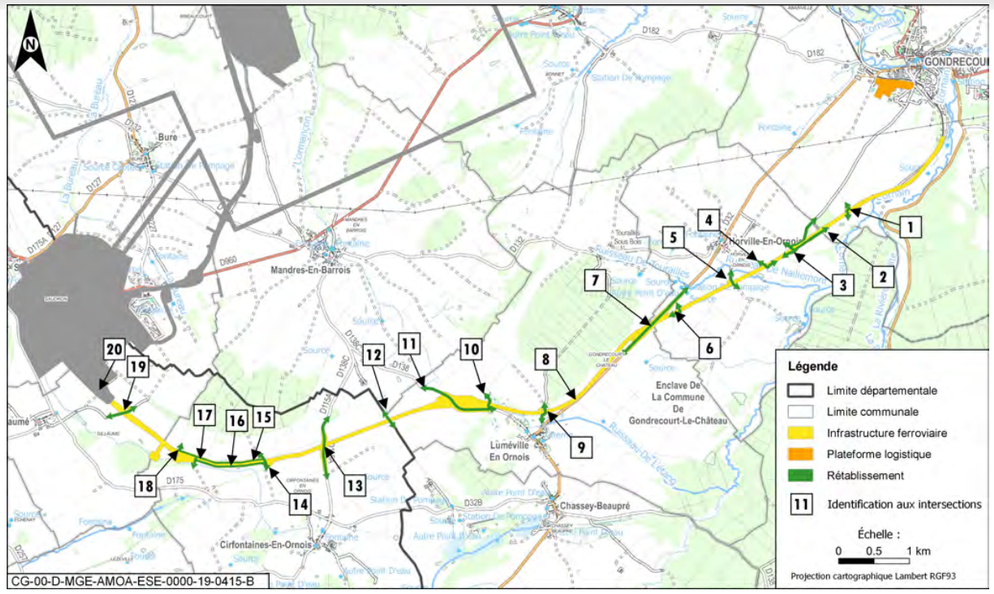


Figure 3-90 Localisation de l'installation ferroviaire terminale embranchée

Le territoire traversé par l'infrastructure ferroviaire de l'installation terminale embranchée s'étend sur quatre communes des départements meusien et haut-marnais (cf. Tableau 3-13).

Tableau 3-13 Région, départements et communes traversés par l'infrastructure ferroviaire de l'installation terminale embranchée

Région	Département	Commune	ITE
Grand Est : Alsace, Champagne-Ardenne, Lorraine	Meuse (55)	Gondrecourt-le-Château	Départ Raccordement au réseau ferroviaire national
		Gondrecourt-le-Château	Section courante
		Horville-en-Ornois	
	Haute-Marne (52)	Cirfontaines-en-Ornois	
		Gillaumé	

La longueur totale de l'infrastructure ferroviaire de l'installation terminale embranchée est d'environ 14 km, dont :

- 10 km s'inscrivant sur le tracé d'une ancienne ligne ferroviaire (ancienne ligne Gondrecourt-le-Château/Joinville) dont elle reprend la plateforme. Cette dernière est désaffectée depuis plusieurs décennies et ne comporte plus d'équipement ferroviaire (rails, traverses et ballast). Seuls les ouvrages d'art et des maisons de garde-barrière subsistent sur le territoire ;
- 4 km d'infrastructure nouvelle à créer entre l'ancienne ligne ferroviaire et les terminaux ferroviaires nucléaire et fret du Centre de stockage Cigéo.

L'infrastructure ferroviaire est constituée d'une voie unique avec un chemin latéral en support. L'infrastructure ferroviaire de l'installation terminale embranchée est une infrastructure privée.

L'Andra n'a pas prévu de clôturer l'infrastructure ferroviaire considérant le faible trafic et la faible vitesse de circulation des convois sur cette infrastructure.

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. La localisation de ces rétablissements est présentée en figure 3-90.

Durant la phase de construction initiale, l'ITE est en exploitation. Elle sert au transport de fret jusqu'au terminal fret ferroviaire situé sur la zone descenderie. Le trafic fret est estimé à environ trois 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.

En phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, l'accès par voie ferrée permet :

- l'arrivée de la grande majorité des colis de déchets radioactifs destinés au stockage jusqu'au terminal ferroviaire nucléaire de la zone descenderie. En effet, Les colis primaires de déchets HA et MA-VL arriveront sur le centre de stockage Cigéo essentiellement par convois ferroviaires depuis les sites d'expédition des producteurs où ils sont entreposés. 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 ;
- la poursuite de l'acheminement des matériaux. Le trafic fret est estimé entre 1 et 2 trains par semaine, en journée.

3.2.7.2 La plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château

Implantée sur un ancien site industriel, cette plateforme logistique privée a une surface de 9 hectares. Elle s'étend sur une commune du département meusien (cf. Tableau 3-14).

Tableau 3-14 Commune d'implantation de la plateforme logistique

Région	Département	Commune	ITE
Grand Est : Alsace, Champagne-Ardenne, Lorraine	Meuse (55)	Gondrecourt-le-Château	Plateforme logistique

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 de conservation de matériaux/matériels.

Les quatre bâtiments existants, actuellement utilisés par l'Andra, notamment pour la conservation d'échantillons (carottes géologique) de sols extraits lors de forages, sont conservés (cf. Figure 3-91). Aucune nouvelle construction n'est aujourd'hui envisagée. Le dispositif actuel d'assainissement des eaux de la plateforme est conservé. Une réhabilitation du dispositif actuel de gestion des eaux pluviales est prévue pour la plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château (en attente de la définition technique des futures installations/activités implantées sur la plateforme logistique).

Il est possible que les fonctionnalités de cette plateforme évoluent dans le futur en fonction des activités de l'Andra. 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 3-91 Vue aérienne de la plateforme logistique de Gondrecourt-le -Château

Synthèse – La description des installations du centre de stockage Cigéo

Le centre de stockage Cigéo comprend :

- une zone descenderie (ZD), en surface, principalement dédiée à la réception des colis de déchets radioactifs expédiés par les producteurs, à leur contrôle et à leur préparation avant transfert dans l'installation souterraine pour leur stockage ;
- une zone puits (ZP), en surface, dédiée aux installations de soutien aux activités réalisées dans l'installation souterraine et en particulier aux travaux de creusement des ouvrages souterrains ;
- une zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS), comprenant des quartiers de stockage des colis de déchets radioactifs, des zones de soutien logistique (ZSL) et leurs accès depuis la surface ;
- 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.

La zone descenderie comprend l'ensemble des surfaces accueillant les bâtiments, ouvrages, équipements et aménagements paysagers de la zone descenderie, à savoir :

- une zone dédiée à l'exploitation accueillant les installations permettant d'assurer l'ensemble des opérations nécessaires à la prise en charge des colis de déchets radioactifs, depuis leur réception, jusqu'à leur transfert vers les infrastructures souterraines de stockage, dont :
  - ✓ le terminal ferroviaire nucléaire (TF INB) accueillant les colis de déchets radioactifs ;
  - ✓ le bâtiment nucléaire de surface (EP1, complété à terme par ETH et EP2) accueillant les installations nucléaires servant à la réception, au contrôle et à la préparation des colis de déchets avant leur descente dans les ouvrages souterrains *via* la tête de descenderie colis (TDC) ;
  - ✓ les installations support regroupant (liste non exhaustive) :
    - la tête de descenderie de service (TDS) ;
    - le bâtiment de sureté, sécurité et protection de l'environnement ;
    - la centrale d'alimentation électrique haute-tension ;
    - la station de traitement des effluents liquides ;
    - les bassins de gestions des eaux ;
- une zone dite administrative accueillant :
  - ✓ les bâtiments administratifs pour l'ensemble du centre de stockage Cigéo ;
  - ✓ le centre de formation du personnel et d'essais des équipements du centre de stockage Cigéo ;
  - ✓ le restaurant d'entreprise ;
  - ✓ atelier de maintenance conventionnelle de surface ;
  - ✓ aire de distribution du carburant pour les véhicules légers ;
- une zone dédiée à l'accueil du public, regroupant en particulier un bâtiment d'accueil du public et un bâtiment dédié notamment à la conservation et la transmission de la mémoire ;
- une zone utilités regroupant les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides (eau potable, eau chaude, eau glacée) et la déchetterie industrielle conventionnelle pour la zone descenderie ;
- une zone destinée aux installations du terminal ferroviaire fret.

La zone puits comprend l'ensemble des surfaces accueillant les bâtiments, ouvrages, équipements et aménagements paysagers de la zone puits, à savoir :

- 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 :
  - ✓ les puits de ventilation travaux ou de transfert de matériels et matériaux :
    - le puits assurant l'apport d'air frais et le transfert du personnel vers la zone souterraine en travaux ;
    - le puits permettant l'extraction d'air vicié de la zone souterraine en travaux ;
    - le puits permettant le transfert des matériels et matériaux ainsi que des déblais de creusement ;
  - ✓ la zone de gestion des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien déposés sous forme de « verses », notamment pour la mise en réserve des matériaux utiles ultérieurement à la fermeture du stockage ;
- une zone dédiée à l'exploitation, comprenant notamment :
  - ✓ les puits de ventilation exploitation :
    - 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.
  - ✓ les installations support regroupant (liste non exhaustive) :
    - les postes de garde et contrôle des accès
    - le bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes ;
    - le bâtiment « lampisterie » ;
    - la centrale d'alimentation électrique haute-tension ;
    - la station de traitement des effluents liquides ;
    - les bassins de gestions des eaux ;
- une zone dite administrative accueillant notamment :
  - ✓ une zone de stationnement dite « parking silo » ;
  - ✓ un bâtiment regroupant des activités tertiaires ;
  - ✓ le restaurant d'entreprise ;
  - ✓ un atelier de maintenance conventionnelle de surface ;
- une zone dédiée à la gestion des utilités regroupant les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides (eau potable, eau chaude, eau glacée) de la zone puits et de l'installation souterraine, la déchetterie industrielle conventionnelle pour la zone puits ainsi qu'une zone dite « travaux ».

Aucun colis de déchets radioactifs ne transite sur la zone puits.

La zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) comprend à terminaison des zones de stockage, organisées en trois quartiers d'alvéoles de stockage suivant les caractéristiques des colis de déchets.

Le stockage des colis de déchets de moyenne activité à vie longue et de haute activité, se fait respectivement au sein des installations nucléaires de fond dites ouvrages de stockage MA-VL et HA :

- le stockage des colis de déchets MA-VL est effectué au sein d'une même zone dans l'installation souterraine dénommée quartier de stockage MA-VL ;
- le stockage des colis de déchets HA est effectué au sein d'une même zone dans l'installation souterraine mais dans deux quartiers distincts :
  - ✓ le quartier pilote HA, un premier quartier dédié au stockage de colis faiblement exothermiques (stockés dans les alvéoles HA0) ;
  - ✓ le quartier de stockage HA un second quartier, composé de plusieurs sous-quartiers, permettant de recevoir également des colis exothermiques mais déployé ultérieurement, dans plusieurs décennies (mise en service envisagée à l'horizon 2080).

La zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) est associée à deux zones de soutien logistique :

- la zone de soutien logistique exploitation (ZSL-E), qui constitue l'interface entre les installations nucléaires de surface et les ouvrages de stockage en exploitation, supporte les activités de la zone souterraine en

exploitation. Elle est reliée à la zone descenderie en surface par deux descenderies et à la zone puits par deux puits :

- ✓ la descenderie dite « descenderie colis » permet le transfert des colis de déchets radioactifs de la surface au fond pour leur mise en stockage. Ce transfert se fait au moyen d'un funiculaire ;
- ✓ la descenderie dite « descenderie de service », dédiée aux fonctions d'exploitation, permet de réaliser :
  - d'une part, les transferts liés à la maintenance et à l'acheminement de matériels et de matériaux ;
  - d'autre part, les interventions d'urgence (accès aux secours) et l'évacuation des personnels, si besoin ;
- ✓ un premier puits permet l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation ;
- ✓ un second puits permet :
  - d'une part, l'apport d'air frais dans la zone souterraine en exploitation ;
  - d'autre part, le transfert du personnel, des équipements, matériels et matériaux vers la zone souterraine en exploitation ;

- la zone de soutien logistique travaux (ZSL-T), qui constitue l'interface entre les installations de surface et les ouvrages souterrains situés hors zone INB en cours de construction, supporte les activités de la zone souterraine en travaux et par laquelle transitent les équipements et les matériaux pour la construction des ouvrages souterrains. Elle est reliée à la zone puits en surface par trois puits :
  - ✓ un premier puits permet l'extraction d'air de la zone souterraine en travaux ;
  - ✓ un second puits permet :
    - d'une part, l'apport d'air frais dans la zone souterraine en travaux ;
    - d'autre part, le transfert du personnel vers la zone souterraine en travaux ;
  - ✓ un troisième puits permet le transfert des matériels et matériaux.

La liaison intersites (LIS), d'une surface totale de 46 ha dont 23 ha remaniés, 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 une bande transporteuse semi-enterrée (convoyeur de matériaux dit de plaine), toutes deux privées, ainsi que d'une route ouverte au public.

L'installation terminale embranchée (ITE) du centre de stockage Cigéo comprend :

- une infrastructure ferroviaire privée, d'une surface totale de 121 ha dont 53 ha remaniés, qui permet de raccorder la zone descenderie du centre de stockage Cigéo au réseau ferré national (RFN) ;
- une plateforme logistique privée, implantée sur un ancien site industriel et d'une surface de 9 ha, qui comprend :
  - ✓ trois voies ferrées raccordées à la ligne ferroviaire 027000 ;
  - ✓ des voies routières associées en lien avec la route départementale D32 ;
  - ✓ des aires de conservation de matériaux/matériels.

[158] Houdreville est située au sud de Nancy, à l'est du centre de stockage. Mery est située au nord de Troyes, à l'ouest du centre de stockage.

3.3 Les autres opérations du projet global Cigéo, nécessaires à la réalisation et à l'exploitation du centre de stockage, menées par l'Andra et par d'autres maîtres d'ouvrage

Ce présent chapitre sera actualisé à l'occasion des procédures relatives aux opérations présentées.

3.3.1 L'opération « alimentation électrique »

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
RTE	Alimentation électrique

RTE (Réseau de transport d'électricité) est le maître d'ouvrage de l'opération « alimentation électrique » relative au raccordement du centre de stockage Cigéo au réseau électrique existant.

3.3.1.1 La présentation générale de l'opération

L'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo est assurée par un raccordement sur la ligne existante 400 kV Houdreville/Mery[158] (cf. Figure 3-92). Cette ligne « très haute tension » passe entre la zone descenderie et la zone puits. Les nouvelles liaisons électriques enterrées qui distribuent l'électricité au centre de stockage Cigéo sont branchées sur la ligne 400 kV existante grâce à un poste de transformation.

» DÉFINITION

Le courant électrique est déplacé en grande quantité avec un minimum de perte sur les lignes à très haute tension (400 kV et 225 kV), similaires à des autoroutes de l'électricité. Des réseaux secondaires sur de plus petites distances, à l'image des départementales, transportent l'électricité en haute tension (90 kV et 63 kV) et moyenne tension (20 kV).

Des transformateurs sont nécessaires sur ce réseau de transport de l'électricité pour aiguiller l'électricité dans la direction souhaitée, faire le lien entre les lignes de différentes tensions, assurer la sécurité des installations.

L'appareillage électrique d'un transformateur à haute tension est organisé en cellules assemblées et reliées entre elles. Une cellule comprend les différents organes nécessaires au fonctionnement d'un poste : disjoncteur, sectionneur, transformateur. Elle sert à raccorder les jeux de barres aux transformateurs du poste et/ou aux lignes électriques sortant du poste.

Un jeu de barres désigne un ensemble de conducteurs métalliques reliant les cellules entre elles.

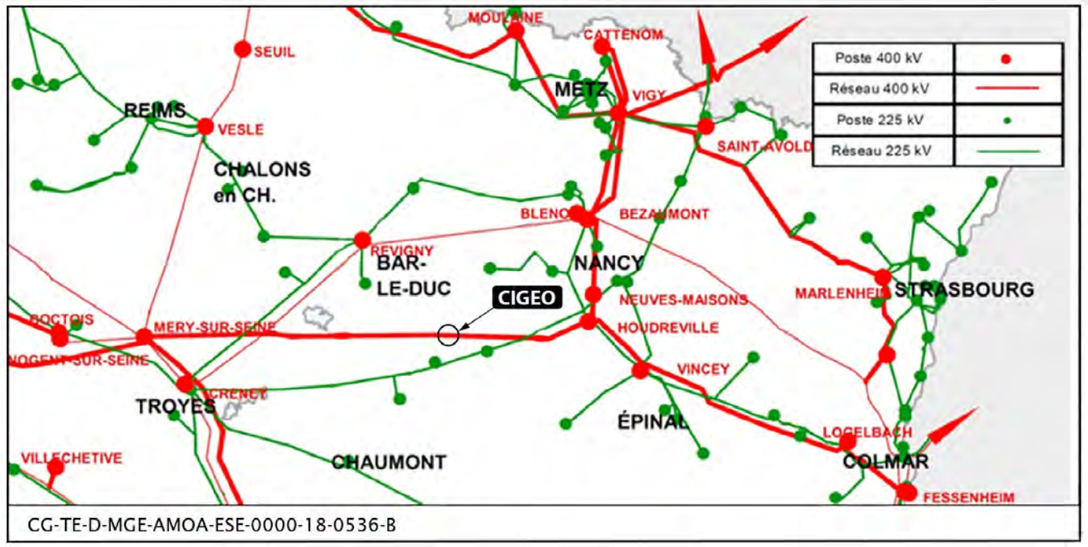


Figure 3-92 *Localisation du raccordement électrique du centre de stockage Cigéo sur le réseau 400 kV*

L'alimentation complète du centre de stockage Cigéo schématisée sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** nécessite la réalisation :

- de travaux relatifs à la ligne 400 kV sur 124 km (234 supports), de la commune de Balignicourt (Aube – pylône n° 79) jusqu'au poste d'Houdreville (Meurthe-et-Moselle – pylône n° 312), pour assurer la fiabilité de l'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo ;
- de travaux de raccordement du poste de transformation 400/90 kV créé pour alimenter le Centre de stockage Cigéo, à 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'un poste de transformation 400/90 kV créé pour alimenter le Centre de stockage Cigéo ;
- 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 électrique RTE de la zone descenderie ;
  - ✓ une liaison électrique enterrée entre le nouveau poste de transformation 400 kV/90 kV et le poste de livraison électrique RTE 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 au poste de livraison électrique RTE sur la zone descenderie et sur la zone puits.

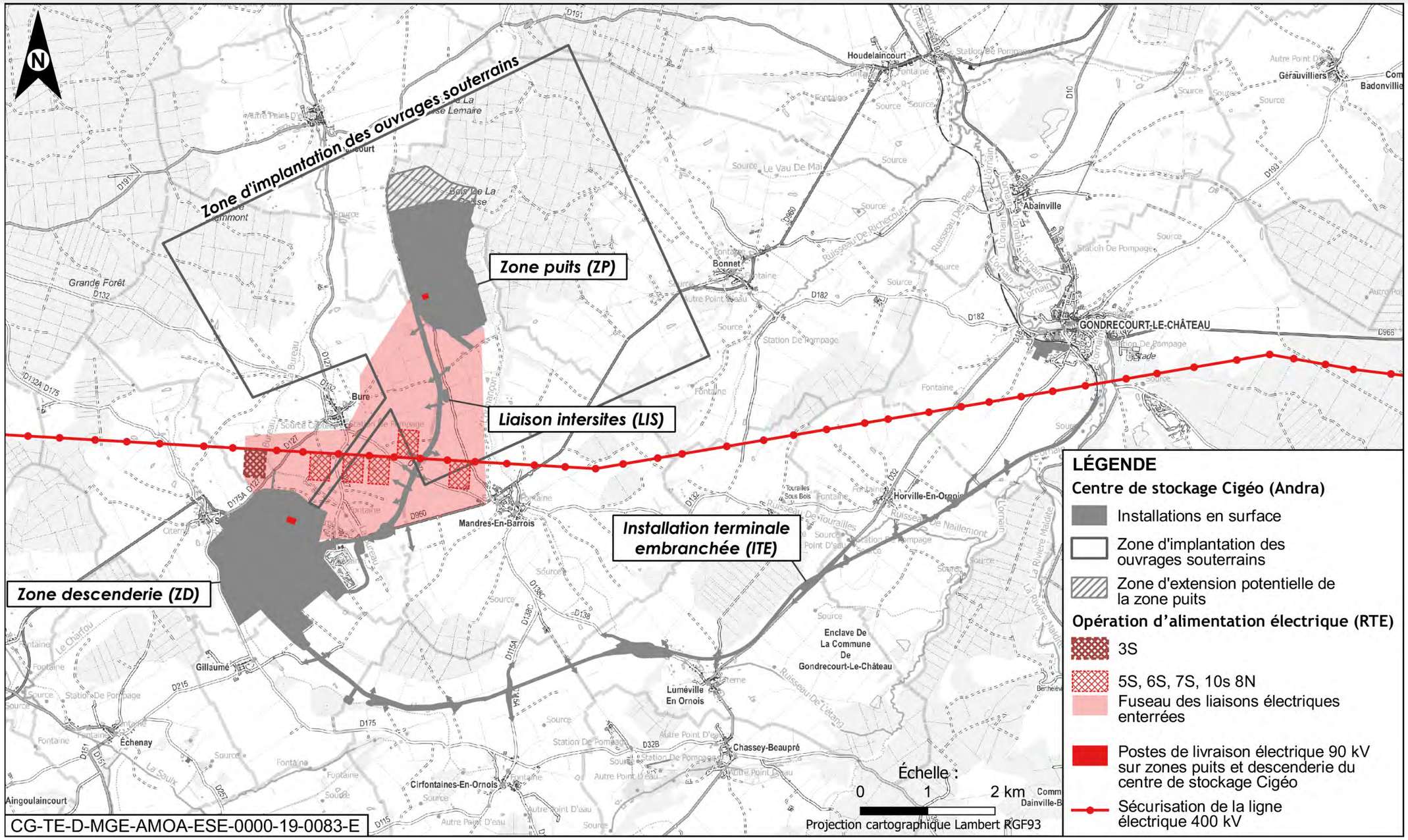


Figure 3-93 *Plan de localisation des installations d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo*

3.3.1.2 Les travaux sur la ligne 400 kV

Les travaux relatifs à la ligne 400 kV sur 124 km (234 supports), de la commune de Balignicourt (Aube – pylône n° 79) jusqu'au poste d'Houdreville (Meurthe-et-Moselle – pylône n° 312), pour assurer la fiabilité de l'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo :

- sur les 124 km de ligne existante entre les pylônes n° 79 et n° 312 :
  - ✓ des travaux de création de pistes provisoires d'accès aux pylônes ;
  - ✓ des travaux de remplacement du câble de garde actuel par un câble de garde avec fibre optique ;
- des travaux de sécurisation de la ligne entre l'emplacement du futur poste de transformation 400 kV/90 kV et du poste d'Houdreville :
  - ✓ des travaux de sécurisation des structures métalliques des pylônes ;
  - ✓ des travaux de sécurisation des fondations de certains pylônes ;
  - ✓ des travaux de remplacement de pylônes.

Les travaux relatifs à la ligne 400 kV, réalisés sur 124 km, concernent 48 communes de cinq départements (cf. Tableau 3-15. Ces travaux sont présentés au chapitre 5.1.2 du présent volume.

Tableau 3-15 Communes actuellement identifiées pour les travaux de sécurisation de la ligne 400 kV de l'opération d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo

Département	Commune		
Aube (10)	Balignicourt	Pars-lès-Chavanges	Lentilles
	Saint-Léger-sous-Margerie	Chavanges	Bailly-le-Franc
Haute-Marne (52)	Rives Dervoises[159]	Attancourt	Curel
	Montier-en-Der	Magneux	Osne-le-Val
	Planrupt	Trois fontaines-la-Ville	Paroy-sur-Saulx
	Frampas	Sommancourt	Effincourt
	Voilecomte	Rachecourt-sur-Marne	Saudron
	Wassy	Chevillon	/
Meuse (55)	Bure	Horville-en-Ornois	Goussaincourt
	Mandres-en-Barrois	Amanty	Brixey-aux-Chanoines
	Bonnet	Vouthon-Bas	Sauvigny
	Gondrecourt-le-Château	Taillancourt	/
Vosges (88)	Clérey-la-Côte	Punerot	Harmonville
	Ruppes	Autreville	/
Meurthe-et-Moselle (54)	Favières	Laloeuf	Hammeville
	Saulxerotte	Goviller	Parey-Saint-Césaire
	Dolcourt	Vitrey	Houdreville

La réalisation des travaux au niveau de la ligne électrique existante n'engendre aucune création supplémentaire de surface artificialisée à la fin des travaux de la phase d'aménagements préalables.

[159] Regroupement des communes Puellemontier et de Droyes

RAISON DES TRAVAUX DE SÉCURISATION DE LA LIGNE 400 KV

Les tempêtes de l'hiver 1999-2000 ont conduit RTE à lancer un programme de sécurisation mécanique de son réseau. L'objectif est d'éviter les coupures d'alimentation occasionnées par des événements climatiques exceptionnels en renforçant les infrastructures pour une meilleure résistance au vent.

Chaque poste électrique doit ainsi être raccordé *a minima* par une ligne sécurisée mécaniquement. Pour le poste de transformation destiné à alimenter le centre de stockage Cigéo, raccordé sur la ligne à 400 000 volts Houdreville – Méry, le choix de sécurisation s'est porté sur le tronçon de la ligne existante vers Houdreville, plus court que le tronçon existant vers Méry.

Depuis le 14 novembre 2015, la norme NF EN 50341-1 de 2015 (219) permet l'application des Eurocodes et prescrit les méthodes d'évaluation de la résistance mécanique des lignes aériennes, ouvrages de génie civil particuliers. Cette norme constitue aujourd'hui la règle de l'art en vigueur en matière de calcul de la résistance mécanique.

RTE réalise les travaux sur la ligne 400 kV conformément à son référentiel, applicable depuis le 1er janvier 2020 pour les opérations sur lignes aériennes existantes, adossé à cette norme. Celle-ci impose pour tous les composants une méthode de calcul de la résistance mécanique associée à un taux de défaut de l'ordre de 0,1 %. L'ensemble des calculs sur le tronçon de 124 km implique plusieurs mois d'études.

Ainsi, il n'est pas possible de préciser à ce stade la consistance technique exacte des travaux de sécurisation à mener sur chaque pylône de la ligne 400 kV existante, ni de préciser les pistes d'accès provisoires dont le dimensionnement dépend des travaux à effectuer. Les incidences des travaux sur l'ouvrage aérien seront identifiées et appréciées dans la version actualisée de l'étude d'impact qui sera produite par RTE à l'appui de sa propre demande de déclaration d'utilité publique (DUP). RTE a toutefois précisé la nature des travaux envisagés au niveau des sites Natura 2000 traversés par la ligne électrique 400 kV (cf. Chapitre 5.1.2.1.6 du présent volume).

LA GESTION DE LA VEGETATION SOUS LA LIGNE

L'État a confié à RTE, dans le cadre de missions de service public, l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau public de transport d'électricité français.

RTE est garant de la sûreté de fonctionnement du système électrique et de la sécurité des personnes et des biens aux abords de ses ouvrages.

Dans le cadre de l'article L. 323-4 du code de l'énergie et de l'arrêté interministériel du 17 mai 2001 modifié, dit « arrêté technique » (220), RTE assure notamment la surveillance de la végétation sous et aux abords des lignes électriques qu'il exploite.

En effet, à partir d'une certaine distance, la végétation est susceptible d'interférer avec le réseau électrique. Ainsi, RTE est amené à mandater régulièrement des prestataires pour faire procéder aux travaux de coupes nécessaires.

L'utilisation de produits phytosanitaires est interdite pour la gestion de la végétation entourant le poste de transformation 400 kV/90 kV (périmètre de protection éloignée du captage de Rupt-en-Nonains).

Le contrôle de la végétation au droit du couloir de servitude de la ligne 400 kV est établi en conformité avec les zones que la ligne traverse (périmètre de protection d'un captage d'alimentation en eau potable, zone Natura 2000.

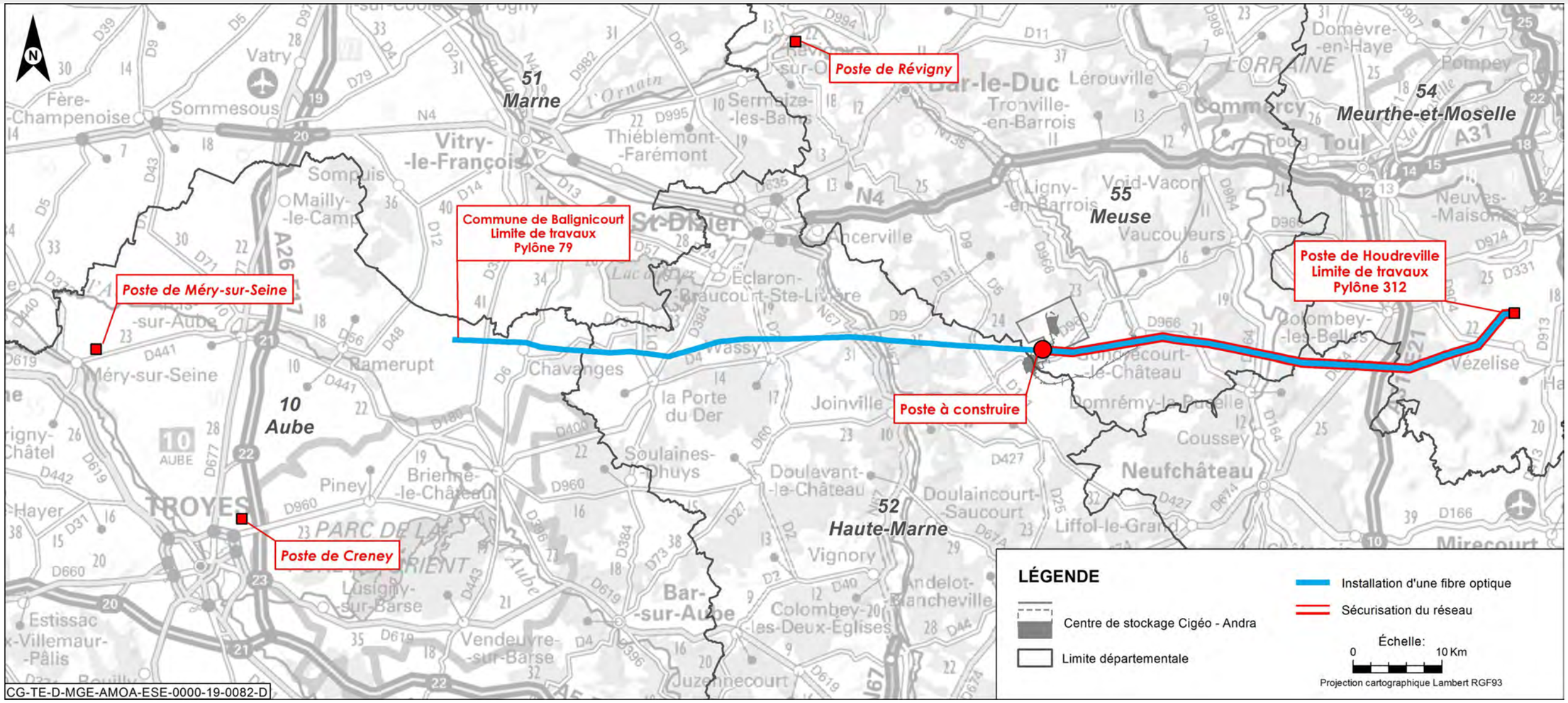


Figure 3-94 Plan de localisation de la portion de la ligne 400 kV faisant l'objet de travaux

3.3.1.3 Le raccordement à la ligne 400 kV

Le choix initial d'implanter un poste de raccordement 400/90 kV à proximité immédiate de la ligne 400 kV Houdreville-Méry permet d'éviter l'installation d'un long linéaire de ligne électrique accompagné de plusieurs pylônes. Ainsi, la zone d'étude d'implantation du poste de transformation 400/90 kV s'attache à limiter la création de pylônes supplémentaires au nombre de 2. Ils auront une hauteur de 30 mètres, pour une emprise au sol de 8 mètres sur 8 mètres.



Figure 3-95 *Illustration de pylônes pour ligne 400 kV (source RTE - juin 2020) (221)*

3.3.1.4 Le poste de transformation 400/90 kV

Pour la mise à disposition de l'alimentation électrique nécessaire à la construction du centre de stockage Cigéo, les équipements électriques installés dans le poste 400/90 kV (cf. Figure 3-96) sont :

- un poste 400 kV comprenant deux cellules lignes 400 kV (reliées aux nouveaux pylônes 400 kV), deux jeux de barres et un couplage 400 kV, deux cellules de transformateurs 400 kV ;
- un poste 90 kV comprenant deux cellules « arrivée » transformateur 90 kV, deux jeux de barre et un couplage 90 kV, deux cellules « départ » lignes 90 kV vers les lignes électriques enterrées d'alimentation des postes de transformation 90/20 kV des zone puits et zone descenderie ;
- deux transformateurs 400/90 kV de 240 MVA reliant le poste 400 kV et le poste 90 kV.

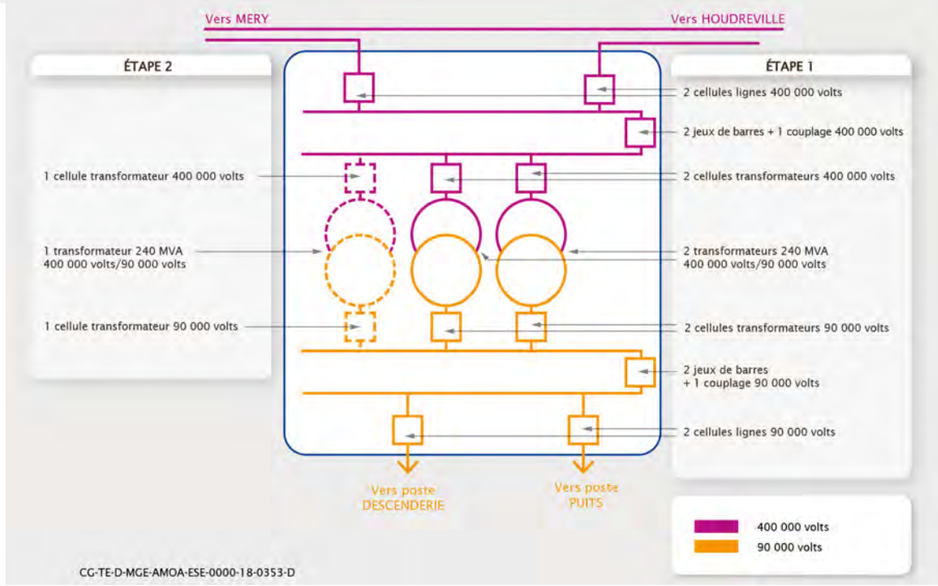


Figure 3-96 Représentation schématique du poste de transformation 400/90 kV

Chacun des transformateurs est enfermé dans une cuve d'acier contenant de l'huile servant à l'isolation. Un transformateur 400/90 kV et ses équipements associés contiennent de l'ordre de 60 tonnes d'huile, soit 55 m³. Des fosses étanches sous les transformateurs permettent de récupérer d'éventuelles fuites d'huile.



Figure 3-97 Exemple de transformateur 400/90 kV

Le poste de transformation est conçu pour une exploitation et un développement adaptable. La nécessité d'équipements complémentaires sera appréciée à l'issue des études détaillées d'optimisation des consommations

électriques. Elles pourront aussi être nécessaires pour maintenir l'activité du poste pendant la maintenance et la jouvence des installations.

Au sein de ces emprises initiales, le poste pourrait être complété lors de l'étape 2 par :

- une cellule transformateur 400 kV ;
- un troisième transformateur 400/90 kV ;
- une cellule transformateur 90 kV associée.

En complément des équipements électriques, l'opération de création de ce poste de transformation nécessite pour son fonctionnement, son exploitation et sa sécurité :

- une voirie d'accès ;
- des pistes permettant de relier les équipements ;
- des bâtiments techniques de hauteur inférieure à 4 mètres.

Les abords du poste sont agrémentés de plantations paysagères (arbustes, arbres, aménagements de talus) pour accompagner son insertion dans l'environnement et le paysage du site.



Figure 3-98 Illustration d'un poste de transformation 400/90 kV

Au total, la surface nécessaire à l'implantation du poste est d'environ 6 ha, comprenant les installations électriques des étapes 1 et 2 ainsi que les aménagements paysagers. La hauteur maximale des installations électriques est celle des charpentes métalliques du poste 400 kV. Elle est de l'ordre de 20 mètres.

L'ensemble du poste (hors pylônes) est clôturé par une double clôture pour garantir la sécurité des installations et des personnes.

En phase exploitation, le poste électrique fonctionne sans personnel permanent sur site. Le personnel de RTE, ses fournisseurs ou ses sous-traitants interviennent ponctuellement sur le poste pour la maintenance du poste et de son système de gestion des eaux pluviales ainsi que pour l'entretien des aménagements paysagers.

L'ensemble des eaux pluviales du poste de transformation 400/90 kV est infiltré. Pour les surfaces non imperméabilisées laissées en concasser, l'infiltration des eaux de pluie est réalisée *in situ* sans collecte, ni récupération, ni traitement. Les eaux des secteurs imperméabilisées qui ne présentent pas de risque de pollution seront directement infiltrées *via* des puits d'infiltration, des tranchées drainantes ou par écoulement libre. Les eaux des secteurs imperméabilisés qui présentent un risque de pollution (eaux d'extinctions d'incendie, fuites d'huile) sont collectées et amenées vers une fosse étanche munie d'un séparateur/récupérateur d'huile qui débouche sur une tranchée d'infiltration.

Les installations électriques du poste contiennent des matériaux combustibles, isolants fluides ou synthétiques par exemple. Leur dysfonctionnement peut créer un arc électrique. La conception du poste prévoit de réduire ces risques grâce à :

- l'éloignement des phases et masses ;
- le dimensionnement de l'isolement ;
- l'installation de filets de garde ;
- un système de télésurveillance qui alerte le poste de contrôle à distance en cas de dysfonctionnement.

La position exacte du poste de transformation 400 kV/90 kV et des raccordements souterrains (liaisons électriques enterrées 90 kV – (cf. Chapitre 3.3.1.5 du présent volume) tient compte de la concertation préalable qui s'est tenue au 1er trimestre 2020. En mai 2020, RTE a proposé de retenir l'emplacement 3S privilégié par les participants à la concertation préalable. La solution retenue parmi six variantes (cf. Chapitre 2.4.2.2 du présent volume), entérinée par la préfète de la Meuse le 24 février 2022, fera l'objet d'un approfondissement des études et d'une actualisation de l'étude d'impact.

Les communes actuellement identifiées pour l'implantation du poste 400 kV et des lignes enterrées de l'opération d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo sont présentées dans le tableau 3-16.

Tableau 3-16 Commune identifiées pour l'implantation du poste 400 kV et des lignes enterrées de l'opération d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo

Départements	Communes
Meuse (55)	Bure

Les installations présentent un haut niveau de fiabilité et permettent un maintien de la puissance nominale même en cas d'indisponibilité d'un transformateur pendant plusieurs mois. Les circuits de raccordement sont doublés et les postes de la zone descenderie et de la zone puits sont reliés afin d'assurer une redondance d'alimentation.

La construction du poste de transformation 400/90 kV et des liaisons électriques enterrées induit une artificialisation supplémentaire des sols de 6 ha à la fin des travaux en phase d'aménagements préalables.

La puissance totale pouvant être fournie est de 110 MW ; elle est répartie entre les postes :

- environ 65 % pour le poste de la zone descenderie ;
- environ 35 % pour le poste de la zone puits.

3.3.1.5 Les liaisons électriques enterrées de 90 kV

Le poste 400/90 kV desservira les postes 90 kV/20 kV par des liaisons électriques 90 kV enterrées. Pour garantir l'approvisionnement électrique du centre de stockage Cigéo, une troisième liaison électrique enterrée 90 kV reliera directement les zones descenderie et puits. Ainsi, en cas de défaillance d'une des liaisons électriques, les postes sont toujours alimentés par la seconde.

Les liaisons électriques enterrées 90 kV sont donc constituées de trois tronçons :

- entre le poste 400/90 kV et le poste 90/20 kV de la zone descenderie ;
- entre le poste 400/90 kV et le poste 90/20 kV de la zone puits ;
- directement entre les deux postes 90/20 kV avec un cheminement en parallèle des deux autres liaisons électriques.

Ces liaisons électriques enterrées 90 kV sont réalisées sous la maîtrise d'ouvrage de RTE.

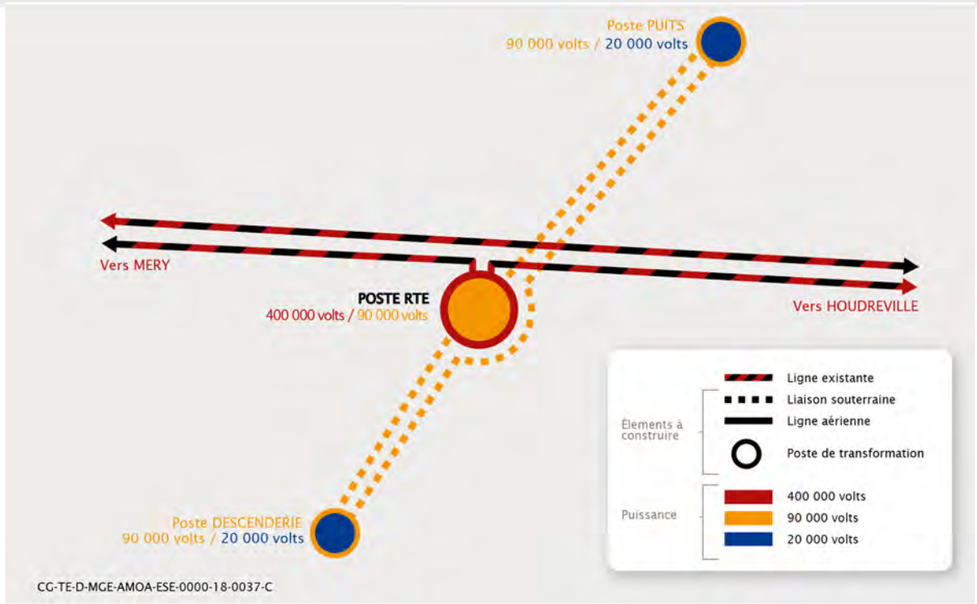


Figure 3-99 *Illustration des opérations de raccordement sur la ligne électrique 400 kV (Source RTE)*

Pour des raisons de sécurité, ces liaisons électriques enterrées chemineront dans deux tranchées parallèles espacées de l'ordre de 5 mètres (cf. Figure 3-100). Cette distance est suffisante pour qu'en cas d'avarie ou d'agression mécanique sur une des liaisons, la seconde ne soit pas impactée.

Figure 3-100 *Schéma de principe d'installation des deux liaisons électriques enterrées 90 kV en tranchées parallèles*

Les liaisons électriques enterrées sont constituées de 3 câbles électriques et de 2 câbles fibre optique. Ces câbles sont tirés dans des gaines placées à faible profondeur dans des tranchées. Un grillage avertisseur est disposé au-dessus des câbles pour signaler la présence de la liaison électrique lors d'éventuels creusements ultérieurs du sol.

La fouille est remblayée. Les plantations d'arbres de hautes tiges seront interdites dans une bande de 2,50 mètres de chaque côté de la liaison électrique enterrée.

Les tracés précis des liaisons électriques enterrées seront définis à l'intérieur du fuseau de moindre impact retenu à l'issue de la concertation (cf. Chapitre 2.4.2.2 du présent volume).

3.3.1.6 Les postes de livraison et de transformation 90/20 kV

Deux postes, permettant chacun la livraison du 90 kV et la transformation 90/20 kV (cf. Figure 3-101), sont implantés, l'un sur la zone descenderie et l'autre sur la zone puits.

Les cellules 90 kV, les jeux de barre et le couplage sont sous la maîtrise d'ouvrage de RTE. Les cellules de transformation et de distribution 20 kV sont sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra.

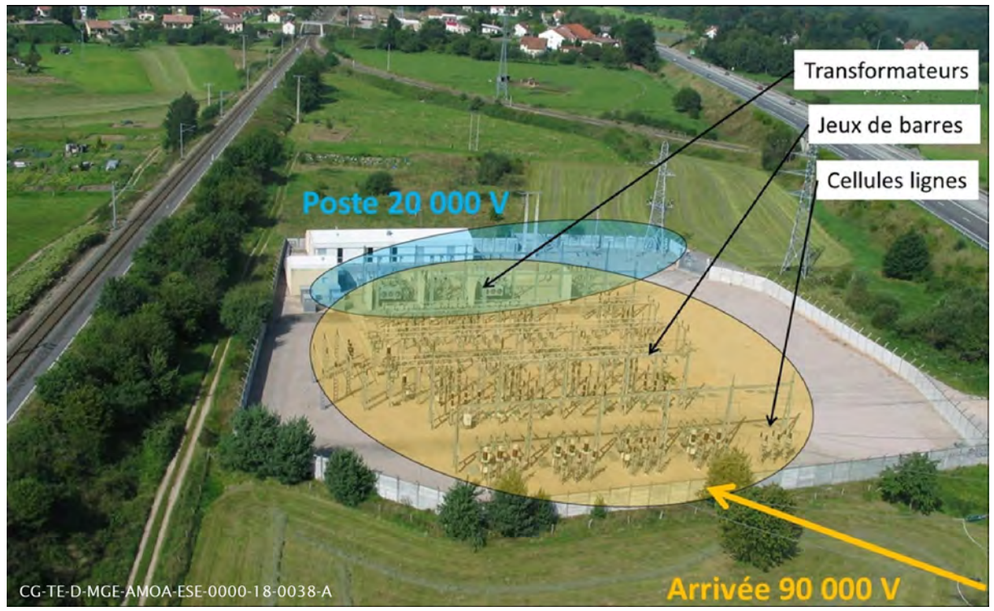


Figure 3-101 *Exemple du poste de transformation 90/20 kV de Pouxeux (Vosges)*

Chacun de ces postes de livraison et de transformation occupe une surface de l'ordre de 1 ha. La hauteur maximale des installations électriques est de 10 mètres pour les charpentes métalliques.

Ces installations présentent les mêmes principes de protection anti-incendie que le poste 400/90 kV. Les eaux pluviales issues des infrastructures routières seront collectées et connectées aux réseaux du centre de stockage Cigéo. Sur les restes de la plateforme les eaux seront infiltrées selon les mêmes modalités que pour le poste 400/90 kV.

À moyen et long terme, de nouveaux raccordements pourront être envisagés sur ces postes pour le développement industriel du territoire.

3.3.2 L'opération « adduction d'eau »

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau

Les syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain assurent la maîtrise d'ouvrage des études et travaux de l'opération « adduction d'eau » relative au raccordement du centre de stockage au réseau d'adduction en eau potable existant.

CONVENTION POUR L'ADDUCTION EN EAU POTABLE

Une convention liera directement l'Andra et ces deux syndicats. Cette convention prévoit toutes les études à réaliser ou compléter aussi bien en matière de vérification des disponibilités quantitatives et qualitatives que sur le plan des schémas de distribution et d'interconnexions possibles. Les besoins en eau pour le centre de stockage Cigéo ayant déjà été exprimés et de nombreuses vérifications faites sur le plan de la disponibilité de la ressource, les études viseront à confirmer sa suffisance et cela, en envisageant différentes évolutions possibles tant sur le plan des besoins globaux du territoire (nouveaux projets, accroissement de certaines activités…) que sur un impact du changement climatique sur la ressource. L'avis d'un hydrogéologue agréé vis-à-vis des captages concernés par le projet global Cigéo sera effectivement produit à la demande de l'État et il appartiendra à l'Andra de se conformer à toutes les prescriptions et de les financer. Elle aborde également les sujets de financement des études et travaux.

Cette convention résulte d'une longue concertation avec le territoire (près de 10 ans) qui a conduit à considérer que l'alimentation en eau du centre de stockage Cigéo par les infrastructures du territoire était à privilégier plutôt qu'une alimentation par une installation en propre de l'Andra, avec l'objectif que les études et les aménagements à réaliser intègrent, au-delà du seul objectif d'alimentation du centre de stockage Cigéo, une sécurisation quantitative et qualitative pour les différents utilisateurs du territoire.

Les pics de besoins en eau du centre de stockage Cigéo sont évalués à 500 $m^3.j^{-1}$ maximum pour la période 2020-2030, puis à une moyenne de 200 $m^3.j^{-1}$ après cette période.

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. La qualité des eaux recyclées est adaptée au besoin en eau non potable du centre de stockage ainsi qu'à la compatibilité des rejets du centre de stockage Cigéo avec les critères de bon état chimique et écologique des eaux superficielles. Ces eaux recyclées, qui respectent les critères du bon état écologique et chimique au sens de la directive cadre sur l'eau (222) (cf. Chapitre 2.5.3.4 du présent volume), 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 3-102) :

- 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-lès-Joinville géré par le SIAEP de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt.

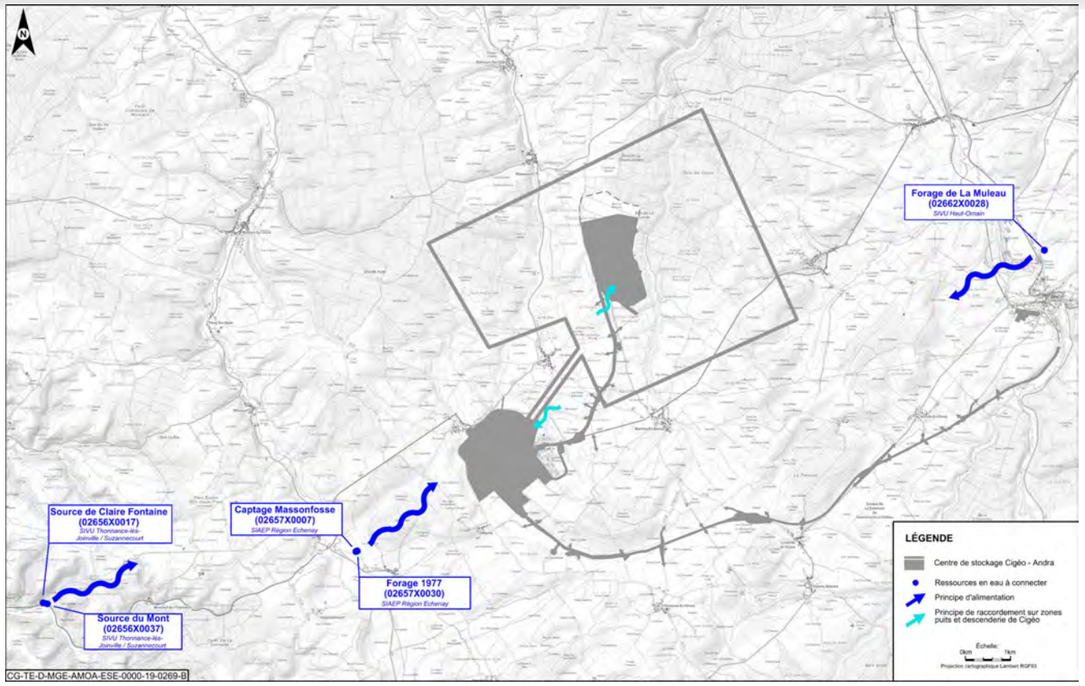


Figure 3-102 Localisation de l'opération d'adduction d'eau

Les travaux de raccordement du centre de stockage Cigéo sont conçus de manière à restructurer les réseaux et à améliorer la distribution locale de façon à la sécuriser. Des études de faisabilité (223) montrent que les travaux vont offrir un débit suffisant pour répondre conjointement aux besoins du centre de stockage Cigéo et du territoire. Ils seront réalisés sous la maîtrise d'ouvrage des syndicats de gestion des réseaux d'eau.

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 leur alimentation actuelle en eau potable venait à être affectée par le projet global Cigéo.

Les solutions retenues feront l'objet d'un approfondissement des études et d'une actualisation de la présente étude d'impact

Les réseaux distribuent les deux réservoirs d'eau potable du centre de stockage Cigéo, d'une capacité respective de 500 m^3 chacun, situés, l'un sur la zone descenderie, l'autre sur la zone puits.

Les communes actuellement identifiées pour l'implantation des ouvrages de l'opération d'adduction d'eau du centre de stockage Cigéo sont listées dans le tableau 3-17. Notons que seules figurent les communes d'implantation des captages, les communes concernées par les travaux de raccordement seront déterminées après finalisation des études techniques et de la concertation (cf. Chapitre 2.4.2.3 du présent volume).

Tableau 3-17 Communes actuellement identifiées pour l'implantation des ouvrages de l'opération d'adduction d'eau du centre de stockage Cigéo

Départements	Communes	
Haute-Marne (52)	Échenay	Thonnance-lès-Joinville
Meuse (55)	Gondrecourt-le-Château	

À la fin des travaux de la phase d'aménagements préalables et au stade actuel des études, il est pris comme hypothèse une artificialisation des sols de l'ordre d'1 ha suite la construction de postes de relevage.

Ces travaux seront principalement réalisés le long des infrastructures existantes. Plusieurs techniques de pose de canalisation pourront être mise en œuvre :

- en tranchée le long des routes (cf. Figure 3-103) ;
- en encorbellement le long de ponts existants ;
- en souterrain par fonçage (cf. Figure 3-105)
  - ✓ l'opération consiste à pousser une gaine dans le sol et à en extraire les déblais au fur et à mesure. Un outil de tête, muni de pics, creuse le sol sur un diamètre équivalent à celui du tuyau. Les déblais sont extraits de l'intérieur du tube et ramenés dans la fosse par une vis sans fin ;
- en souterrain par forage dirigé :
  - ✓ l'opération consiste à réaliser dans le sol un tunnel stable dans lequel l'ouvrage sera mis en place. Un forage pilote de diamètre réduit est progressivement élargi grâce à des aléseurs. Après le dernier forage, une extrémité de la canalisation préalablement construite sera fixée à un aléseur approprié et elle sera tirée d'une extrémité à l'autre.



Figure 3-103 Trancheuse pour pose de canalisation

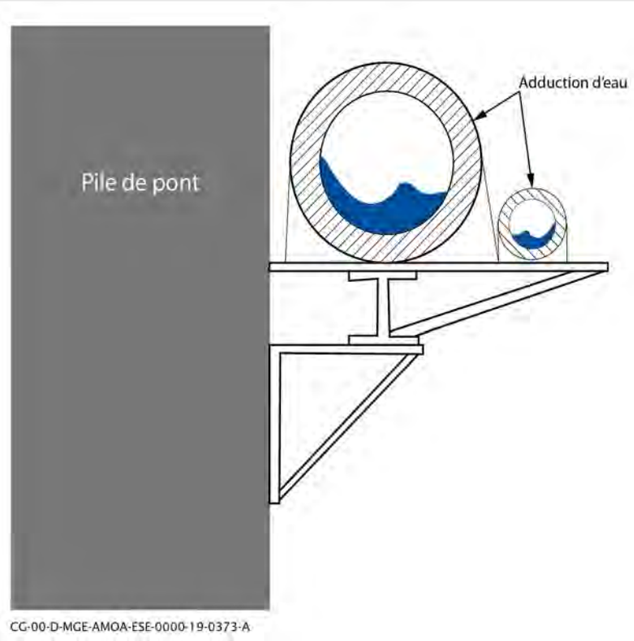


Figure 3-104 Canalisation en encorbellement



Figure 3-105 Tête de foreuse pour fonçage

3.3.3 L'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 »

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000

SNCF réseau est le maître d'ouvrage de l'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 », ligne du réseau ferré national.

3.3.3.1 La localisation et la description de la ligne

La ligne ferroviaire 027000 (cf. Figure 3-106) du réseau ferré national est connectée à l'installation terminale embranchée (ITE) du centre du centre de stockage Cigéo. Elle relie l'ITE du centre de stockage Cigéo à la ligne Paris–Strasbourg (cf. Chapitre 2.4.2.4 du présent volume).

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, après réhabilitation. Ce tronçon est néanmoins fermé depuis décembre 2019.

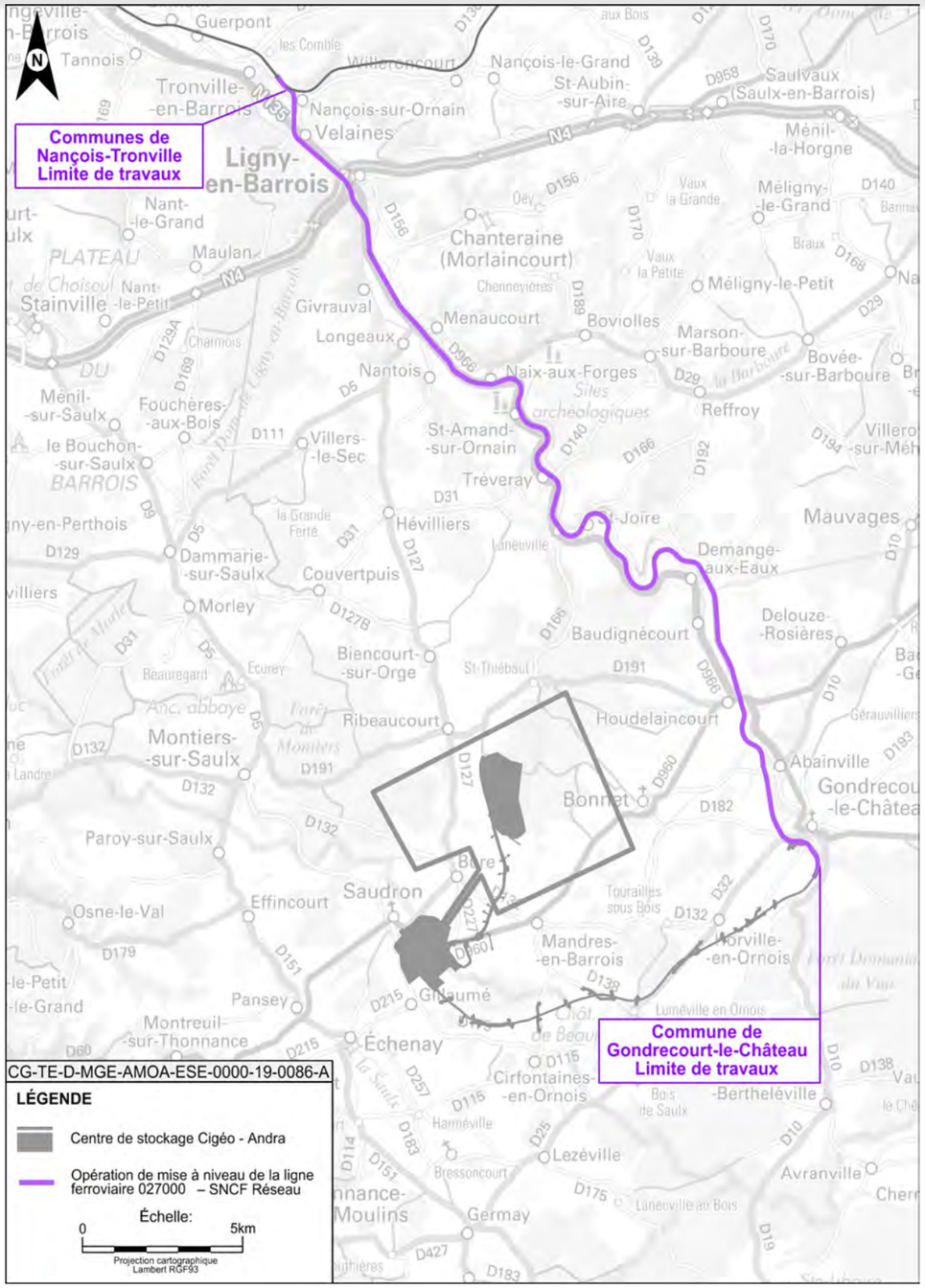


Figure 3-106 Localisation de la ligne ferroviaire 027000

Cette ligne, d'une longueur de 36 km, est intégralement située dans le département de la Meuse (département 55). Le tableau 3-18 présente les seize communes qu'elle traverse.

Tableau 3-18 Communes actuellement identifiées pour l'opération de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000

Département	Communes			
Meuse (55)	Nançois-sur-Ornain	Velaines	Ligny-en-Barrois	Givrauval
	Longeaux	Menaucourt	Nantois	Naix-aux-Forges
	Saint-Amand-sur-Ornain	Tréveray	Saint-Joire	Demange-Baudignécourt
	Houdelaincourt	Abainville	Gondrecourt-le-Château	Tronville-en-Barrois

Au stade actuel des études et notamment des rétablissements en cours de définition au droit de la ligne ferroviaire 027000, il est attendu une artificialisation de l'ordre de 14 ha en plus de la plateforme ferroviaire existante.

Cette ligne du réseau ferré national est une ligne à voie unique non électrifiée, avec une vitesse maximale de 40 km.h^{-1}. Les trains circulants sont des trains diesel.

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 (cf. Chapitre 3.3.3.2 du présent volume). Ce mode de fonctionnement implique la présence d'un seul train sur la ligne ce qui limite le trafic à 8 passages quotidiens (4 allers et retours). Le trafic maximal sera du même ordre que sur l'ITE, à savoir trois trains par jour (6 passages) en phase de construction initiale.

Le profil de la ligne est majoritairement en remblai rasant ou au niveau du terrain naturel.

La ligne comprend 26 ouvrages d'art décomposés en :

- 17 ponts rails (la voie ferrée passe au-dessus des routes), dont 2 ponts rails métalliques d'une longueur supérieure à 20 mètres ;
- 3 ponts routes (où la route passe au-dessus de la voie ferrée) ;
- 1 passerelle (pont piéton au-dessus des rails) ;
- 1 saut de mouton (dispositif ferroviaire constitué d'un pont, d'une tranchée ou d'un court tunnel permettant à une voie ferrée d'en croiser une autre en passant par-dessus ou par-dessous) ;
- 4 murs de soutènement.

Elle compte aussi 57 ouvrages hydrauliques et 59 passages à niveau, dont 43 sans barrière.

3.3.3.2 Le mode d'exploitation retenu pour la ligne ferroviaire 027000

Trois modes d'exploitation sont possibles pour la ligne ferroviaire 027000 à voie unique :

- le mode d'exploitation déjà utilisé pour la ligne ferroviaire 027000 jusqu'à sa fermeture dénommé « exploitation en voie unique à trafic restreint » (VUTR) :
  - ✓ les trains circulent dans les deux sens sur l'unique voie. Les dispositions de sécurité ne sont pas assurées par des dispositifs automatisés ou gérés à distance, ni relayés par des signaux lumineux. La sécurité résulte des consignes locales d'exploitation spécifiques qui sont appliquées par les conducteurs de train et le personnel de ligne. Afin d'assurer la sécurité de ce mode d'exploitation, seuls 4 passages quotidiens de train (soit 2 allers-retours) sont admis ;
- l'exploitation en navette où un seul train circule de façon pendulaire dans les deux sens ;
- la voie banalisée où différents types d'installations de sécurité télécommandées empêchent la circulation simultanée de trains en sens contraire et garantissent une distance de sécurité suffisante entre des trains circulant dans le même sens. Le CCVB (commande centralisée de voie banalisée) est un de ces modes d'exploitation de voie banalisée.

SNCF Réseau a analysé les modes d'exploitation adaptés aux besoins du centre de stockage Cigéo. L'exploitation en navette d'un seul train a été écartée, car elle empêcherait l'utilisation de la ligne ferroviaire pour d'autres utilisateurs éventuels.

Le VUTR demande moins d'investissements pour mettre à niveau la ligne, mais limite la circulation. L'ajout de transmetteurs à chaque embranchement sur la ligne permet d'augmenter le trafic à 8 passages quotidiens, soit quatre aller/retour.

La voie banalisée permet de faire circuler plus de train, mais induit des travaux plus onéreux pour mettre la ligne à niveau (environ 20 % supérieurs au VUTR, et 50 % plus élevé pour son entretien).

Étant donné le trafic restreint dont a besoin le centre de stockage Cigéo (cf. Volume IV de la présente étude d'impact), la solution VUTR (mode d'exploitation précédent de la ligne) est privilégiée. Toutefois, les travaux de mise à niveau intégreront des dispositions permettant une éventuelle évolution ultérieure de son mode d'exploitation.

3.3.3.3 Les travaux de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000

La ligne ferroviaire 027000 étant fermée à la circulation 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.

Le diagnostic réalisé par SNCF réseau révèle un état médiocre de la voie dans son ensemble. La composante la plus abîmée est son plancher. Les traverses sont souvent très anciennes. Le ballast est décompacté, mélangé à de la terre et de la végétation s'est installée. La plateforme est envahie par la végétation. Son système de drainage est largement déficient et un quart des ouvrages hydrauliques doit être rénové.

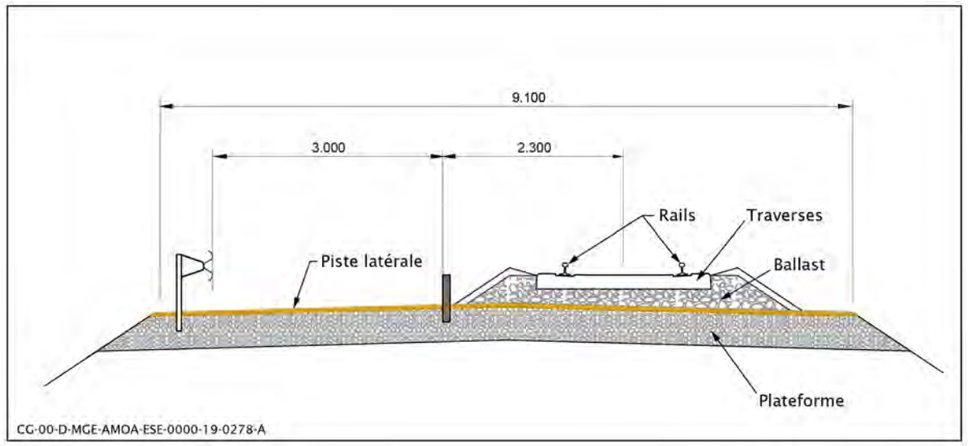


Figure 3-107 Profil en travers type d'une voie ferrée

Tous les ouvrages d'art nécessitent des travaux de réfection. Les salles d'exploitation des gares de Nançois-Tronville et de Lérouville doivent être adaptées pour intégrer le raccordement entre la ligne Paris-Strasbourg et la ligne ferroviaire 027000. Il faut également agrandir la salle à relais du poste de Lérouville.



Figure 3-108 Passage à niveau à Abainville



Figure 3-109 L'ancienne gare de Ligny-en-Barrois

Les principaux travaux de rénovation au sein des emprises actuelles de la SNCF sont les suivants :

- en gare de Nançois-Tronville, création de connexions directes depuis Paris et vers Strasbourg grâce à l'installation de jonctions électrifiées et à la motorisation des aiguillages ;
- installation de transmetteurs à l'entrée des ITE ;
- renouvellement total des composants de la plateforme et de la voie afin de limiter les interventions dans les 100 prochaines années ;
  - ✓ renouvellement des rails, traverses et ballasts ;
  - ✓ renouvellement des matériaux de la plateforme sur 60 cm de profondeur ;
- réfection des ouvrages hydrauliques ;
- réfection des ouvrages d'arts au fur et à mesures des cycles de régénération :
  - ✓ étanchéité des ouvrages ;
  - ✓ réfection des maçonneries ;
  - ✓ remplacement des tabliers métalliques des ouvrages par des tabliers en béton ;
- pose d'un câble de communication tout le long de la ligne.

Les choix relatifs aux passages à niveau ont fait l'objet d'une concertation, dont SNCF Réseau a publié le bilan en septembre 2021 (112) (cf. Chapitre 2.4.2.4 du présent volume). La suppression d'un minimum de 22 passages à niveau sur 59 n'a pas suscité d'opposition de principe. SNCF s'est engagée à maintenir le dialogue avec le territoire et à optimiser les aménagements de la ligne afin d'améliorer son insertion locale. Les travaux de modernisation des passages à niveaux et leurs emprises seront spécifiés ultérieurement en fonction de la solution retenue qui fera l'objet d'un approfondissement des études et d'une actualisation de la présente étude d'impact.



Figure 3-110 Ligne ferroviaire 027000 à Nançois-Tronville (à droite)



Figure 3-111 Ouvrage d'art de la ligne ferroviaire 027000

Préalablement aux travaux, un débroussaillage est effectué notamment au niveau des fossés et des ouvrages d'art et hydrauliques.

Une fois les travaux de rénovation de la voie réalisés, des opérations de maintenance seront nécessaires :

- vérification annuelle de l'état des installations ;
- nettoyage annuel des voies et leurs abords ;
- désherbage et débroussaillage annuel ;
- graissage des aiguilles joints et des aiguilles ;
- réparations et remplacements de pièce selon les besoins.



Figure 3-112 Enlèvement de portions d'ancienne voie ferrée

3.3.4 L'opération « déviation de la route départementale D60/960 »

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
CD52	Déviation de la route départementale D60/960

Le Conseil départemental de la Haute-Marne (CD52) est le maître d'ouvrage de l'opération « déviation de la route départementale D60/960 » relative aux travaux de déviation de la route départementale D60/960 en vue de contourner la zone descenderie du centre de stockage Cigéo.

La route départementale D60/960 relie Soulaine d'Huys (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 67 à Joinville qui relie Chaumont au sud à Saint-Dizier au nord ;
- la route départementale 966 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-Barrois.

L'objectif de l'opération est de contourner la zone descenderie en maintenant les fonctionnalités et les niveaux de service et de sécurité actuels suivants :

- route à double sens constituée de deux voies d'une longueur variable selon les options ;
- maintien de l'actuel profil en travers de la route départementale D60/960 qui répond à l'évolution du trafic attendue et aux fonctionnalités de la route ;
- route classée Route à Grande Circulation (RGC) permettant notamment la circulation de convois exceptionnels.

La nouvelle section déviée respectera les normes de construction routière en vigueur. Chaque intersection avec les autres routes sera conçue pour sécuriser les mouvements de véhicules compte tenu du trafic modéré attendu (inférieur à quelques milliers de véhicules par jour en moyenne annuelle).

Trois options sont en cours d'études par le Conseil Départemental de la Haute-Marne (cf. Figure 3-113) :

- une option 1 dite « tracé de proximité », qui longerait la limite nord de la zone descenderie (cf. Figure 3-114) ;
- une option 2 dite « tracé élargi au nord », qui contournerait Saudron (cf. Figure 3-115) ;
- une option 3 dite « tracé élargi au sud », qui passerait entre la zone descenderie et Gillaumé en contournant Saudron (cf. Figure 3-116).

Le conseil départemental de la Haute-Marne a publié le 20 mai 2022 le bilan de la concertation relative aux variantes de tracés possibles pour la déviation de la route départementale 60/960 (116) (cf. Chapitre 2.4.2.5 du présent volume). L'option 3 (contournement par le sud) est abandonnée. Le Conseil départemental s'engage à poursuivre les études sur les options nord. L'option 1 reste à ce stade l'option de référence, l'essentiel des échanges lors des rencontres ou dans les contributions s'étant concentré sur cette option considérée plus pratique, avec moins d'impacts sur le foncier et un coût moins important. Le Conseil départemental reviendra vers le public pour présenter les résultats de l'examen des options de tracé, et ce en amont de la délibération des assemblées départementales de Haute-Marne et de Meuse pour acter le tracé retenu.

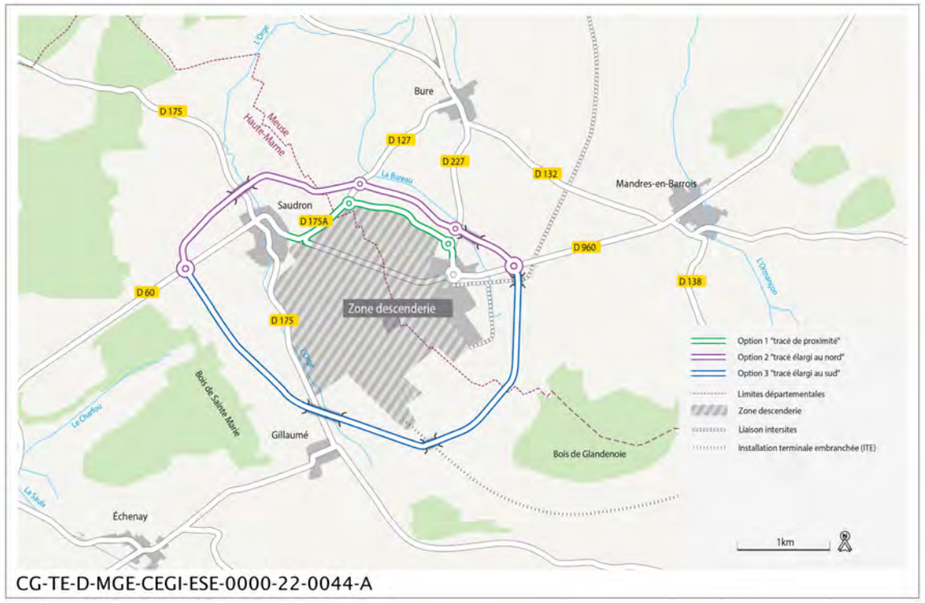


Figure 3-113 *Opération de déviation de la route départementale D60/960 – options étudiées en vue de la concertation*



Figure 3-114 *Opération de déviation de la route départementale D60/960 – Option 1 « Tracé de proximité »*



Figure 3-115 *Opération de déviation de la route départementale D60/960 – Option 2 « Tracé élargi au nord »*

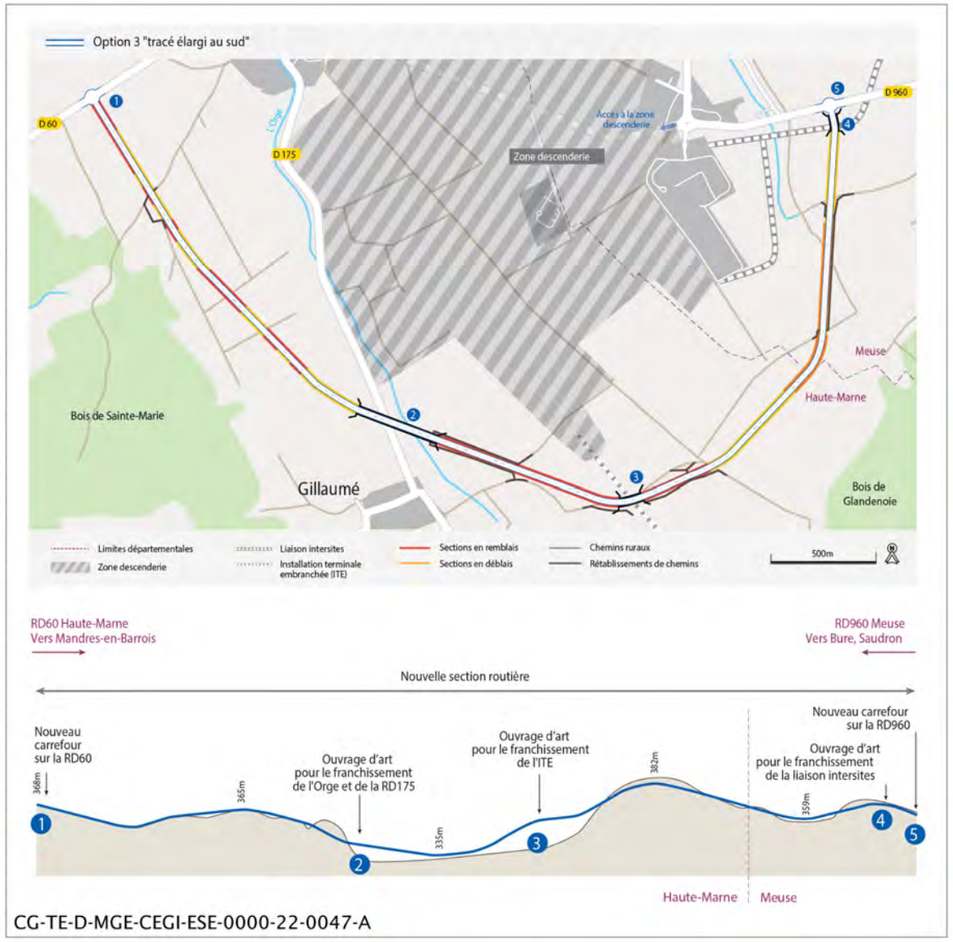


Figure 3-116 *Opération de déviation de la route départementale D60/960 – Option 3 « Tracé élargi au sud »*

Les communes concernées par ces options sont indiquées dans le tableau 3-19.

Tableau 3-19 *Communes concernées actuellement identifiées pour l'opération de déviation de la route départementale D60/960*

Département	Commune
Meuse (55)	Bure
Haute-Marne (52)	Saudron
	Gillaumé

Selon l'option la plus longue impliquant un franchissement de l'Orge, la surface artificialisée à la fin des travaux de la phase d'aménagements préalables serait d'environ 10 ha pour la déviation de la route départementale D60/960.

3.3.5 L'opération « expédition et transport des colis de déchets »

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
CEA/Orano/EDF	Expédition et transport de colis

L'expédition et le transport des colis de déchets radioactifs des lieux de production jusqu'au centre de stockage Cigéo relève de la responsabilité des producteurs de déchets. Ces activités sont regroupées sous l'opération « expédition et transport des colis de déchets radioactifs ».

Les colis de déchets destinés au centre de stockage Cigéo sont entreposés temporairement dans des installations dédiées existantes chez les différents producteurs, puis acheminés depuis :

- les installations Orano du site de La Hague dans le département de la Manche ;
- l'installation EDF ICEDA (Installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés) dont la mise en service est prévue en 2020 sur le site de la centrale nucléaire de Bugey dans le département de l'Ain ;
- les installations du CEA du centre de Marcoule dans le département du Gard, du centre de Cadarache dans le département des Bouches-du-Rhône et du centre de Valduc dans le département de la Côte d'Or.

Des installations dédiées à l'expédition des colis de déchets sont déjà présentes sur les sites existants des producteurs de déchets. La prise en charge des colis de déchets HA et MA-VL, en vue de leur transport jusqu'au centre de stockage Cigéo, est donc réalisée depuis ces installations d'expédition déjà en place. En fonction des chroniques d'expédition des colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo et des études des producteurs relatives à l'utilisation de potentiels nouveaux emballages de transport, des adaptations de ces installations, voire la création de nouvelles installations, sur les sites existants des producteurs de déchets pourraient être nécessaires. Dans ce cas, l'étude d'impact du projet global Cigéo sera actualisée afin de prendre en compte les impacts des travaux et du fonctionnement de ces installations adaptées ou nouvelles.

Il est rappelé, en revanche, que les activités de traitement et de conditionnement des déchets sur les sites producteurs des déchets sont réalisées, en amont des installations d'expédition, indépendamment de l'existence même du centre de stockage Cigéo (quelle que soit la destination des déchets). Elles sont donc indépendantes et par conséquent exclues du périmètre du projet global Cigéo.

La localisation des installations existantes des producteurs à partir desquelles sont expédiés les colis de déchets HA et MA-VL est représentée sur la figure 3-117.

Le transport des colis de déchets HA et MA-VL jusqu'au centre de stockage Cigéo se fait ensuite *via* des infrastructures ferroviaires existantes. Les acheminements envisagés jusqu'au centre de stockage Cigéo sont également visibles sur la figure 3-117.



Figure 3-117 *Illustration de l'acheminement des colis de déchets radioactifs vers le centre de stockage Cigéo*

Tableau 3-20 *Communes actuellement identifiées pour les installations liées à l'opération d'expédition et de transport*

Département	Communes	
Ain (01)	Saint-Vulbas	
Bouches du Rhône (13)	Saint-Paul-lez-Durance	
Côte-d'Or (21)	Salives	
Gard (30)	Chusclan	Codolet
	Laudun-L'Ardoise	Orsan
Manche (50)	La Hague	Valognes

Aucune artificialisation supplémentaire des sols n'est attendue pour cette opération du projet global Cigéo.

3.3.5.1 L'organisation pour les transports de colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo

Les producteurs de déchets sont responsables de l'acheminement des colis de déchets depuis les sites de production jusqu'au centre de stockage Cigéo. Bien que ne faisant pas partie des installations du centre de stockage Cigéo proprement dites, les installations d'expédition des colis radioactifs depuis les sites des producteurs ont un lien fonctionnel avec le centre de stockage Cigéo. Elles participent à la chaîne d'acheminement des colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo.

La stratégie industrielle du centre de stockage Cigéo retenu par l'Andra consiste à minimiser le nombre de colis de déchets en attente de stockage au sein des installations du centre de stockage Cigéo en privilégiant une gestion de type flux tendu. Ainsi, l'Andra et les producteurs de déchets planifient et mettent en cohérence les moyens industriels à mettre en œuvre dans le cadre du développement du centre de stockage Cigéo.

L'installation terminale embranchée du centre de stockage Cigéo assure le raccordement au réseau ferré national et permet de privilégier le transport des colis radioactifs par voie ferrée.

Les éléments de justification de ces choix sont présentés dans le chapitre 2.5.3.6 du présent volume.

En tant qu'expéditeurs des colis de déchets et conformément à la réglementation des transports de marchandises dangereuses (cf. Arrêté 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voie terrestre (224)), les producteurs ont la responsabilité de délivrer au transporteur un colis de transport en tout point conforme à ladite réglementation. À ce titre, les producteurs sont notamment responsables du choix de l'emballage de transport, du respect des conditions d'utilisation de cet emballage ainsi que de la préparation du colis de transport (on entend par colis de transport l'ensemble : emballage + contenu radioactif).

Les colis de déchets sont transportés dans des emballages (cf. Figure 3-118) adaptés à chacun des types de colis de déchets produits. Ces emballages sont conçus conformément à la réglementation en matière de transport des déchets, pour assurer : le confinement des substances radioactives, la maitrise de l'intensité de rayonnement externe, la prévention de la criticité, la prévention des dommages causés par la chaleur y compris pour des conditions incidentelles ou accidentelles susceptibles de survenir durant le transport ou la manutention (choc, chute, incendie à proximité…) s'agissant des emballages destinés à transporter les colis de déchets dont l'activité radiologique est la plus importante (la quasi-totalité des colis de déchets destiné au centre de stockage Cigéo).



Figure 3-118 Convoi de déchets radioactifs

Ces derniers sont par ailleurs soumis à différentes épreuves mécaniques et thermiques simulant des conditions accidentelles sévères prenant en compte les caractéristiques des colis de déchets qu'ils sont susceptibles de transporter. Ces emballages de transport font l'objet d'une expertise technique et d'un agrément de conformité à la réglementation délivré par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). En outre, ces emballages permettent d'atténuer les niveaux d'irradiation pour les rendre inférieurs aux limites fixées par la réglementation.

Par ailleurs, les transports de substances radioactives sont assurés par des sociétés spécialisées en ayant fait la déclaration auprès de l'ASN. Compte tenu des emballages existants, de l'avancement des études de faisabilité sur les emballages à développer et de leur retour d'expérience dans le domaine des transports, les producteurs de déchets (EDF, CEA et Orano) ont confirmé qu'ils disposeront des flottes d'emballages et des moyens de transport nécessaires, en particulier pour les colis de déchets devant être expédiés durant les premières années de fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

Les colis de déchets destinés à être stockés seront expédiés par les producteurs après contrôle de leur conformité aux réglementations relatives aux transports et aux critères d'acceptation pour le centre de stockage Cigéo.

Au démarrage du fonctionnement du centre de stockage Cigéo, les flux de convois acheminés par voie ferroviaire sont estimés à environ 8 trains[160] par an. Ensuite, le flux s'intensifierait progressivement pour atteindre, une moyenne maximale d'environ six trains par mois.

Même si la voie ferrée est l'option de référence, un acheminement par camion peut être justifié compte tenu de la localisation de certains sites, de flux limités ou de circonstances particulières.

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. Elles seraient prises en compte dans les versions ultérieures actualisées de la présente étude d'impact.

Les orientations retenues par les producteurs de déchets pour l'expédition de leurs colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo sont présentées dans les chapitres suivants.

3.3.5.2 Les orientations retenues pour l'expédition de colis de déchets radioactifs depuis les sites EDF vers le centre de stockage Cigéo

L'expédition des colis de déchets radioactifs destinés au centre de stockage Cigéo sera effectuée à partir de l'installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activités (ICEDA).

Cette installation a été autorisée par décret n° 2010-402 du 23 avril 2010 (225) et constitue l'Installation nucléaire de base (INB) n° 173. Elle est implantée sur le site de la centrale de Bugey.

Le site de Bugey est raccordé au réseau ferroviaire, ce qui permet l'expédition vers le centre de stockage Cigéo par rail des colis de déchets radioactifs.

Compte tenu d'une part des dimensions du colis primaire de déchets (C1PG) qui y sera produit pour conditionner les déchets MA-VL et d'autre part des dimensions prévisionnelles importantes de l'emballage de transport de ces C1PG, le transport par voie ferroviaire est privilégié à ce stade par EDF pour les expéditions depuis ICEDA (123)

Une réservation a été prévue au sein d'ICEDA pour l'atelier de chargement des C1PG dans leur emballage de transport vers le centre de stockage Cigéo. Toutefois, étant donné que les expéditions de C1PG depuis ICEDA vers le centre de stockage Cigéo ne débuteront pas avant le milieu des années 2040, la conception et la réalisation de cet atelier spécifique ont été différées afin qu'elles soient adaptées, le moment venu, aux emballages de transport agréés conformément à la réglementation applicable (123).

La construction ou l'aménagement d'installations supplémentaires pour le conditionnement, l'entreposage et l'expédition d'autres déchets, en particulier les déchets de déconstruction des centrales actuellement en activité,

[160] Un train convoie, en moyenne, environ sept emballages de transport, pouvant contenir jusqu'à 36 colis MA-VL ou 26 colis HA.

seront envisagés en lien avec le programme de déconstruction des réacteurs de la seconde génération (cf. Chapitre 1.2.2 du présent volume).

3.3.5.3 Les orientations retenues pour l'expédition de colis de déchets radioactifs depuis les sites Orano vers le centre de stockage Cigéo

La solution de référence d'Orano est celle déjà retenue actuellement pour le retour vers les clients étrangers des colis de déchets issus du retraitement sur le site de La Hague (Manche). Il s'agit d'expéditions effectuées à partir du site de La Hague jusqu'au terminal ferroviaire de Valognes, situé à une quarantaine de kilomètres, par route, puis par convoi ferroviaire jusqu'au centre de stockage Cigéo.

Les ateliers d'expédition des colis HA et MA-VL existent sur le site de La Hague. Il s'agit des ateliers de désentreposage des résidus vitrifiés et des résidus compactés (DRV), de l'atelier de désentreposage et extension de l'entreposage de déchets solides (D/E EDS) et de l'atelier de désentreposage/entreposage extension bitume (D/E EB). Ces ateliers peuvent être utilisés pour expédier des colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo.

Orano estime que l'organisation des expéditions et des transports de colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo n'implique pas de modification majeure des installations actuelles de La Hague.

3.3.5.4 Les orientations retenues pour l'expédition de colis de déchets radioactifs depuis les centres du CEA vers le centre de stockage Cigéo

Plusieurs installations existantes d'entreposage de déchets destinés au centre de stockage Cigéo sont implantées sur les centres de Marcoule (Gard), Cadarache (Bouches-du-Rhône) et Valduc (Côte d'Or).

On peut citer sur le centre de Cadarache, l'installation de Conditionnement et d'Entreposage de Déchets Radioactifs (CEDRA) et sur le site de Marcoule l'installation DIADEM (déchets radioactifs irradiants ou alpha de démantèlement), autorisée en 2016, ou l'entreposage intermédiaire polyvalent, installation de conception modulaire, permettant la construction d'alvéoles d'entreposage en fonction des besoins. Le centre de Valduc dispose également d'installations d'entreposage et le CEA étudie actuellement des capacités d'entreposage supplémentaires sur ce centre.

Compte tenu de l'environnement géographique des centres de Marcoule et de Cadarache, des voies et des infrastructures de transport disponibles dans leurs champs proches, ainsi que des spécificités des installations concernées, le CEA a créé début 2013 un projet en vue d'étudier la transportabilité de ses colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo et élaborer des scénarios de transport de référence viables sur toute la durée de fonctionnement du centre de stockage Cigéo (123).

L'installation CEDRA permet l'expédition des colis destinés au centre de stockage Cigéo au départ du centre de Cadarache. Le centre de Valduc dispose également d'un atelier d'expédition. La construction d'installations permettant de recevoir et d'expédier les colis depuis Marcoule sera également étudiée en fonction des flux à expédier vers le centre de stockage Cigéo.

Alors que l'arrivée sur le centre de stockage Cigéo par voie ferroviaire est figée, tous les modes de transports au départ des centres ont été envisagés par le CEA pour élaborer ses scénarios (route, fer, voie navigable, transports multimodaux) à l'exception du mode aérien jugé rédhibitoire compte tenu des masses à transporter, des flux et de la difficulté à concevoir les modèles de colis de transport adaptés. Chaque scénario est évalué au regard des performances de fonctionnement, de la sécurité du transport, de l'acceptabilité par le public, des impacts potentiels sur l'environnement et des contraintes liées à la conception.

Le CEA ne s'interdit aucun mode de transport pour se prémunir de difficultés liées à l'utilisation de la voie ferroviaire ou routière. Les scénarios envisagés pourront nécessiter :

- l'adaptation des installations de départ actuellement sous dimensionnées ou la création d'installations de transfert ;
- la création de plateformes d'expédition ;
- la création ou l'adaptation de terminaux de transbordement ferroviaires ou fluviaux.

Le choix définitif des scénarios de transport de référence au départ des centres CEA de Marcoule et de Cadarache n'interviendra qu'après le résultat des dernières études de faisabilité complémentaires en cours, le remontage global des coûts et la décision d'engager ou non les investissements pour les phases de conception et de réalisation des infrastructures et des emballages de transport.

Concernant les expéditions des colis de déchets depuis le centre de Valduc, non embranché au réseau ferré national et situé à environ 150 km par la route du centre de stockage Cigéo, le mode d'expédition préférentiel sera par voie routière. En effet, compte tenu du faible nombre de colis de déchets à transporter en provenance du centre de Valduc (une centaine de camion sur toute la durée de fonctionnement du centre de stockage Cigéo), il ne semble pas justifié du point de vue environnemental de créer de nouvelles infrastructures pour permettre leur livraison par rail.

3.3.6 Les opérations de « caractérisation et surveillance environnementale »

MOA(s) et opération(s) objet(s) du présent chapitre	
MOA(s)	**Opération(s)**
Andra	Caractérisation et surveillance environnementale

Les opérations de « caractérisation et de surveillance environnementale », sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra, regroupent des activités de caractérisation de l'environnement, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales.

3.3.6.1 Les opérations de caractérisation de l'environnement

Les opérations de caractérisation de l'environnement correspondent à des investigations qui permettent d'acquérir une meilleure connaissance de l'environnement du projet global Cigéo au sens large (géologie, biodiversité, eau, archéologie…). Ces investigations pourront être menées avant et pendant la construction et le fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

L'acquisition de ces connaissances peut parfois répondre à des obligations réglementaires. Par exemple, l'actualisation de l'étude d'impact du projet global (en particulier de son chapitre relatif à l'état initial de l'environnement), dans le cadre d'une future demande d'autorisation, pourra nécessiter de nouvelles investigations. Des opérations de caractérisation peuvent également être utiles pour améliorer la conception, la construction et le fonctionnement du centre de stockage Cigéo, ou pour en maîtriser mieux les impacts.

Certaines de ces investigations sont menées dans la zone d'implantation potentielle du centre de stockage Cigéo, comme par exemple des forages géotechniques (en phases aménagements préalables, construction initiale et fonctionnement) ou des diagnostics et fouilles archéologiques (en phase aménagements préalables). D'autres sont menées en dehors de la zone d'implantation potentielle du centre de stockage Cigéo, comme par exemple des forages de caractérisation hydrogéologique. Elles sont complémentaires aux investigations réalisées à l'intérieur de la zone d'implantation potentielle du centre de stockage Cigéo. Elles font partie du projet global Cigéo.

Les opérations de caractérisation sont principalement de trois types :

- des investigations géologiques ou hydrogéologiques ;
- des inventaires environnementaux (par exemple écologiques) ;
- des investigations relatives à l'archéologie préventive.

3.3.6.1.1 Les investigations géologiques ou hydrogéologiques

S'agissant des investigations géologiques ou hydrogéologiques, l'Andra a procédé depuis les années quatre-vingt-dix à de nombreuses campagnes d'investigations pour l'étude de la géologie régionale à locale dans le cadre de sa mission de recherche de site, puis de conception du centre. Des opérations de forage et des campagnes géophysiques depuis la surface ont notamment été menées sur le territoire de la Meuse/Haute-Marne (cf. Chapitre 2.4 du présent volume).

De nouvelles campagnes de forages sont nécessaires, pour poursuivre les études de recherche et développement et pour affiner certaines données utilisées pour la conception du centre de stockage Cigéo. Pour ce faire, de nouveaux forages de caractérisation seront réalisés. Ils sont regroupés en deux grandes catégories, à savoir :

- les forages de caractérisation hydrogéologique (connaissance des circulations d'eaux souterraines) ;
- les forages de caractérisation géologique.

Le type et le positionnement de ces forages seront définis à des étapes ultérieures puisqu'ils seront fonction des données hydrogéologiques et géologiques à acquérir et des contraintes environnementales locales en surface. Si nécessaire, ils feront l'objet de processus d'autorisations réglementaires adaptés à leur nature et à leurs incidences potentielles sur l'environnement.



Figure 3-119 Centrale d'acquisition de données dans un cabanon de protection de forage (à gauche) et tête de piézomètre (à droite)

LES FORAGES DE CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE : PIÉZOMÈTRES ET ESSAIS D'EAU

Les piézomètres sont des forages de petit diamètre (quelques centimètres à dizaines de centimètres) qui servent à mesurer le niveau des eaux souterraines, à faire des prélèvements d'eau de nappe ponctuels pour analyse chimique et radiologique, à déterminer la perméabilité des terrains traversés. Ces paramètres contribuent à établir l'état hydrogéologique des zones d'études. Ils sont également utilisés pour concevoir les bâtiments et leurs dispositions d'étanchéité et de drainage.

Les forages de caractérisation hydrogéologiques peuvent être maintenus ouverts pour poursuivre les mesures dans le temps. Ils peuvent donc être utilisés à la fois pour la caractérisation et pour la surveillance environnementale. Plusieurs dizaines de ces ouvrages seront implantés, à des profondeurs variables en fonction de la masse d'eau.

La partie visible et accessible en surface est une dalle de béton d'au moins 2 m x 2 m x 0,3 m de hauteur autour d'une tête métallique qui protège le piézomètre. Le piézomètre comporte un capteur de pression et une centrale d'acquisition et de transmission. Un cabanon de protection est fixé sur la dalle.

Les forages pour essai d'eau, d'un diamètre de 115 mm, permettent de caractériser la conductivité hydraulique de chacune des couches de terrain testées. Ils sont arrêtés tous les mètres pour un essai d'infiltration d'eau. Ils sont refermés après mesures.

LES FORAGES DE CARACTÉRISATION GÉOLOGIQUE

Les forages de caractérisation géologique sont des forages dont la profondeur dépend de la roche étudiée (de 100 mètres de profondeur pour l'étude des calcaires du Barrois jusqu'à 600/900 mètres de profondeur pour l'étude de l'Oxfordien, du Callovo-Oxfordien et du Dogger).

Pour les forages les plus profonds, la caractérisation portera en priorité sur le Callovo-Oxfordien, mais aussi, de façon opportuniste, sur les autres formations géologiques traversées que sont l'Oxfordien carbonaté, le Kimméridgien et la partie supérieure du Dogger.

Leur objectif est de consolider les connaissances disponibles sur les formations géologiques traversées. Ils ont des objectifs spécifiques. Ils permettent d'acquérir notamment la géométrie, la minéralogie et les paramètres géomécaniques statiques et dynamiques des terrains traversés.

Ces paramètres sont obtenus, soit par prélèvements de roche dénommés « carottes » (les carottes sont analysées sur le chantier et utilisées pour des tests en laboratoire de géomécanique et de géotechnique), soit par passage dans les forages d'outils dits de « diagraphies » et d'outils spécialisés tels que les pressiomètres, des sources vibratoires et géophones ou accéléromètres associés.

Ces forages peuvent être refermés après mesures ou maintenus ouverts pour poursuivre les mesures dans le temps. Ils peuvent donc être utilisés à la fois pour la caractérisation et pour la surveillance environnementale (cf. Chapitre 2.4.2.7 du présent volume).

La partie visible et accessible en surface est du même type que pour les piézomètres (dalle de béton d'au moins 2 m × 2 m × 0,3 m de hauteur, centrale d'acquisition et de transmission et cabanon de protection fixé sur la dalle).



Figure 3-120 Plateforme de forage profond

3.3.6.1.2 Les inventaires environnementaux

S'agissant des inventaires environnementaux, et comme pour les opérations de caractérisation géologique, l'Andra procède depuis des années à des investigations de terrain sur le territoire pour en acquérir une bonne connaissance environnementale.

Des études spécifiques devront néanmoins encore être menées pour mettre à jour les inventaires, principalement de la biodiversité, dans les zones susceptibles d'être affectées par le développement du centre de stockage Cigéo. Ces inventaires permettent de maintenir une bonne connaissance de l'état de conservation des populations et d'évaluer leurs déplacements et l'étendue de leur territoire de vie. Ils concernent par exemple des protocoles d'écoute (points d'écoutes fixes ou pose d'enregistreurs) ou de recherche de gites de chiroptères, des observations des oiseaux (fixes ou mobiles, diurnes ou nocturnes), des relevés de la présence de reptiles (à vue ou sous plaques), des observations de mammifères (pièges photographiques, comptages…) et des passages de naturalistes pour répertorier les habitats naturels et la flore.

D'autres mesures de caractérisation, de moindre enjeu environnemental, pourront également être réalisées sur le milieu physique hors du centre de stockage (relevés topographiques, débit de cours d'eau, mesures de bruit…). Ces opérations peuvent être des mesures ponctuelles effectuées par simple circulation de personnes (ou matériel) ou des mesures effectuées à partir de dispositifs physiquement implantés sur le terrain (bornes topographiques, station de mesures, stations de jaugeage des cours d'eau…).

3.3.6.1.3 Les investigations relatives à l'archéologie préventive

Par ailleurs, des investigations relatives à l'archéologie préventive ont été menées, et seront encore menées (cf. Chapitre 5.1.1.3 du présent volume), sachant que classiquement, ces investigations sont réalisées en deux temps :

- dans un premier temps, des « diagnostics » archéologiques sont réalisés par l'Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP) ;
- en fonction des résultats du diagnostic, des « fouilles » peuvent être prescrites par arrêté préfectoral. Dans ce cas, des « fouilles » sont ensuite réalisées par l'INRAP ou par tout autre opérateur agréé par l'État.

L'étendue des investigations restant à mener sera définie à des étapes ultérieures puisque dépends des demandes/prescriptions faites par l'INRAP.

Si nécessaire, ces investigations feront l'objet de processus d'autorisations réglementaires adaptés à leur nature et à leurs incidences potentielles sur l'environnement.

L'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE[161]

En amont de grands travaux d'aménagement (lignes à grande vitesse, autoroutes…) ou lorsqu'un permis de construire est déposé (parking, immeuble), le préfet de région et son service archéologique peuvent ordonner un diagnostic archéologique. Son objectif est de vérifier si le terrain recèle des traces d'anciennes occupations humaines susceptibles d'être détruites lorsque le sol sera remanié. Réalisés bien avant que les travaux ne commencent, le diagnostic permet d'éviter qu'ils soient interrompus en cas de découverte fortuite. Chaque année, environ 8 % des projets d'aménagement font l'objet d'un diagnostic archéologique.

Dans la plupart des cas, le diagnostic consiste en des sondages à intervalles réguliers pour déterminer la présence d'éventuels vestiges. La taille d'un sondage varie en fonction du terrain. En règle générale, il s'agit d'une tranchée de 1,3 m à 3 m de large (correspondant à la largeur du godet de la pelle mécanique), et de longueur variable. Lorsque des vestiges apparaissent, il est parfois utile d'élargir légèrement les sondages - alors dénommés "fenêtres" -, pour une meilleure compréhension. La profondeur dépend du niveau d'enfouissement des vestiges. Quelques-uns des vestiges apparus peuvent être partiellement fouillés, les objets ainsi recueillis et analysés permettant de dater les occupations humaines auxquels ils sont liés. À l'issue du diagnostic, un rapport de diagnostic est rendu aux services de l'État (DRAC/Service régional de l'archéologie de la région concernée).

Lorsque le diagnostic a attesté la présence de vestiges archéologiques dignes d'intérêt scientifique et suffisamment conservés, l'État peut prescrire une fouille archéologique préventive. Cela concerne environ 20 % des diagnostics. Cette opération fait l'objet d'un contrat entre l'aménageur et l'opérateur choisi par ses soins. L'intervention sur le terrain se déroule suivant l'ordre successif des couches archéologiques, dont chacune correspond à un moment de l'histoire du site. Tous les vestiges mis au jour sont enregistrés et documentés (relevés topographiques, dessins, photographies, plans et coupes). Le mobilier est transféré au centre de recherches archéologiques. Dans un deuxième temps, les données scientifiques recueillies sur le terrain sont exploitées par les archéologues pour reconstituer l'histoire du site, ses occupations humaines et son évolution

[161] Source INRAP https://www.inrap.fr/les-etapes-du-diagnostic-9721 (226) et https://www.inrap.fr/les-etapes-de-la-fouille-9722 (227).

à travers les siècles. Les conclusions des fouilles sont consignées dans un rapport, remis par l'opérateur aux services de l'État.

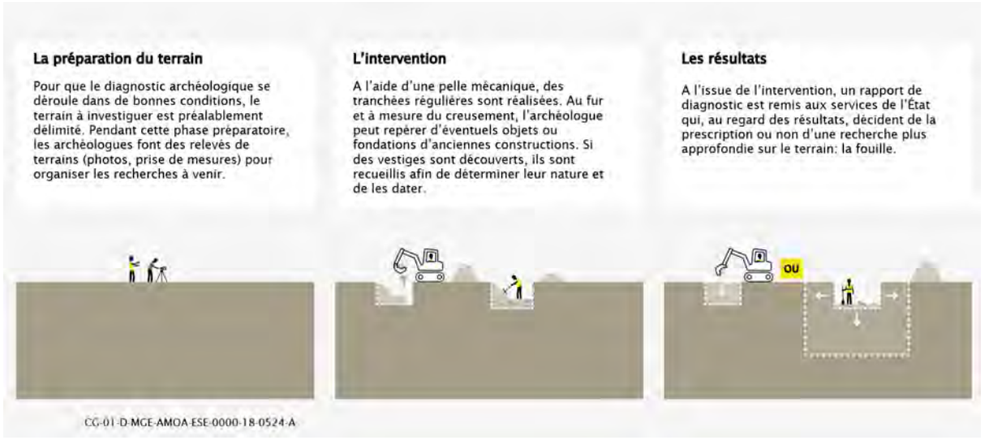


Figure 3-121 Principe d'un diagnostic archéologique

3.3.6.2 Les activités de surveillance environnementale

Des actions de surveillance environnementale seront prescrites par les autorités dès l'engagement des premiers travaux de la phase de construction initiale du centre de stockage Cigéo, pendant toute sa phase de fonctionnement et après sa fermeture, aussi longtemps qu'elles seront jugées utiles pour la protection de la santé et de l'environnement.

Ces actions de surveillance environnementale correspondent à la réalisation de mesures, continues ou périodiques, permettant de :

- contrôler le fonctionnement du centre de stockage Cigéo, et notamment de son 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 incombent à l'Andra en matière de protection de l'environnement.

La surveillance environnementale joue ainsi un rôle essentiel pour suivre l'impact des activités du centre de stockage Cigéo sur son environnement, pour limiter tout risque de contamination, pollution ou nuisance et pour réduire les conséquences des situations anormales, dégradées ou accidentelles.

Les mesures associées à la surveillance environnementales concernent des critères et des paramètres définis dans les différentes autorisations qui seront délivrées à l'Andra pour le centre de stockage Cigéo. Ces critères et paramètres seront définis notamment dans les prescriptions de l'Autorité de sûreté nucléaire. Ils portent sur les prélèvements et la consommation d'eau, les émissions d'effluents et de façon générale sur toutes les composantes de l'environnement susceptibles d'être affectées par le centre de stockage (article 4.2.1 de l'arrêté INB du 7 février 2012 (146)).

Une synthèse des résultats des mesures associées à la surveillance environnementale du centre de stockage Cigéo sera transmise *a minima* mensuellement à l'ASN, à l'Agence régionale de santé (ARS) et au service chargé de la police de l'eau. Un rapport annuel sera établi pour présenter l'impact du centre de stockage Cigéo durant l'année civile écoulée. Il sera transmis à l'ASN, à la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), à l'Agence régionale de santé (ARS), au service chargé de la police de l'eau, ainsi qu'à la future Commission locale d'information (CLI).

Les actions de surveillance environnementale pourront nécessiter la création et mise en œuvre de dispositifs de surveillance spécifiques comme détaillé au chapitre 19 du volume IV de la présente étude d'impact. Les implantations des dispositifs de surveillance seront fixées par les différentes autorisations en fonction des critères et paramètres à mesurer et des contraintes environnementales de surface. Ils pourront être situés à proximité du centre de stockage Cigéo ou dans un environnement éloigné de plusieurs kilomètres. La mise en place de ces dispositifs donnera lieu, lorsque nécessaire, à des processus d'autorisations réglementaires adaptés à leur nature et à leurs enjeux environnementaux. Ces dispositifs et leurs implantations seront présentés dans une version ultérieure de l'étude d'impact.

Au stade actuel des études, il est retenu une artificialisation du sol d'environ 2 ha pour les opérations de caractérisation et surveillance environnementale.

Parmi les dispositifs de surveillance, des forages permettront de suivre la qualité, les fluctuations et les écoulements des nappes d'eaux souterraines (forages hydrogéologiques) et le comportement des terrains géologiques accueillant le stockage.

Tableau 3-21 Besoins de surveillance du stockage par forages

Fonctions et exigences	Besoins de surveillance	Possibilité de répondre aux besoins et moyens d'y répondre
Moyen d'évaluer ou de surveiller l'éventuelle migration de radionucléides	Piézométrie et suivi de la composition chimique des eaux dans les calcaires du Barrois, le Kimméridgien, les Calcaires de l'Oxfordien et le Dogger	Forages instrumentés depuis la surface
Préserver les propriétés favorables du Callovo-Oxfordien	Évolution des pressions interstitielles dans le Callovo-Oxfordien	
	Échauffement (mesures réparties dans le plan du stockage et verticalement), déformations mécaniques et thermomécaniques en grand dans le Callovo-Oxfordien et l'Oxfordien	
	Évolution de la piézométrie dans les calcaires du Barrois, le Kimméridgien, les Calcaires de l'Oxfordien et le Dogger	

Outre les forages, des dispositifs de mesure, de moindre impact environnemental, seront disposés sur le territoire pour la surveillance environnementale. Il s'agit notamment de balises permettant des prélèvements d'air et des mesures, en particulier de la qualité de l'air ou de radioactivité volumique ou ambiante. Des dispositifs permettront également de surveiller la qualité et les débits des eaux superficielles.

Des prélèvements dans les cours d'eau, des prélèvements de sol, de végétaux et de productions agricoles seront également menés pour surveiller les écosystèmes terrestres et aquatiques.

Les prélèvements et mesures seront réalisés par l'Andra ou par ses prestataires selon des exigences fixées par les autorités. Les analyses des prélèvements seront réalisées par des laboratoires, internes au centre de stockage ou extérieurs, agréés par l'ASN ou par le ministère en charge de l'environnement.

LA SURVEILLANCE APRÈS FERMETURE

Pour le centre de stockage Cigéo, la surveillance sera maintenue après la fermeture définitive. La durée de cette dernière phase, appelée « phase de surveillance » sera précisée par les autorités (cf. Chapitre 4 du présent volume). Elle est destinée à confirmer le bon fonctionnement du stockage et notamment le confinement des radioéléments.

Cette surveillance après fermeture ne devra pas perturber le système de stockage. Plusieurs solutions techniques opérationnelles de surveillance sont envisagées (techniques de géophysique non intrusives depuis la surface, mesures depuis des forages instrumentés, mesures au sein même des ouvrages de stockage avec transmission des données sans fil à travers les terrains depuis le fond jusqu'à la surface...).

Cette phase de surveillance est associée à une période de contrôle institutionnel qui comprendra le maintien de servitudes d'utilité publique. Le contrôle institutionnel peut aller au-delà de la phase de surveillance en particulier pour renforcer le maintien de la mémoire du site après sa fermeture.

La phase de surveillance s'achève avec le déclassement de l'installation (article L. 593-33 du code de l'environnement).

Comme indiqué au chapitre 18.1 du volume IV de l'étude d'impact, « *après la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo, la sûreté est assurée de façon passive, c'est-à-dire que les personnes et l'environnement sont protégés des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir* ».

Une fois les installations nucléaires de surface démantelées et l'installation souterraine remblayée et scellée, la couche du Callovo-Oxfordien ainsi que les dispositifs ouvragés mis en place à la fermeture (scellements en particulier au niveau des liaisons surface-fond et des galeries) assurent la protection de l'homme et l'environnement de manière passive.

Le dossier de demande d'autorisation de création, conformément à l'article R. 593-16 du code de l'environnement, comprend une pièce dite « Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance » qui présente les principes méthodologiques, les étapes et les délais envisagés pour le démantèlement des parties de l'installation qui ne sont plus nécessaires à l'exploitation du stockage, pour la fermeture et pour la surveillance de l'installation une fois l'autorisation de fermer définitivement l'installation souterraine du centre de stockage promulguée.

Par ailleurs, afin de s'assurer qu'une fois l'installation souterraine fermée, les dispositifs naturels et ouvragés protègent l'homme et l'environnement de façon passive, des activités de surveillance du comportement des ouvrages souterrains et des perturbations éventuelles apportées par le stockage sur la couche du Callovo-oxfordien (suivi par exemple du comportement mécanique et des caractéristiques hydrauliques) seront mises en œuvre. À cette fin, des forages réalisés dès la phase de construction initiale pourront être mis à profit. La surveillance après fermeture dont la durée minimale sera fixée par l'Autorité de sureté nucléaire (ASN) dans le décret de démantèlement et de fermeture de l'INB, comprendra des dispositifs déjà mis en place avant la fermeture définitive et maintenus si besoin après la fermeture du centre de stockage Cigéo et préconisera éventuellement des dispositifs complémentaires.

Tous les dispositifs de suivi après fermeture seront choisis de manière à préserver la couche du Callovo-Oxfordien afin qu'elle puisse jouer pleinement son rôle central vis-à-vis de la protection à long terme de l'homme et l'environnement. Plusieurs pistes sont à ce stade envisageables : techniques non intrusives en surface (géophysique…), mesures dans des forages instrumentés réalisés depuis la surface jusqu'à l'Oxfordien calcaire situé au-dessus de la couche du Callovo-Oxfordien (cf. Chapitre 5.1.1.1 du volume IV de la présente étude d'impact). Un périmètre de protection des ouvrages souterrains, prévu obligatoirement par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, sera défini et permettra de réglementer, *via* des servitudes, les usages des terrains.

Suite au décret de démantèlement et à l'issue des opérations préalables à la fermeture définitive de l'installation, une décision de l'ASN viendra autoriser le passage en phase de surveillance sur la base d'un dossier de l'Andra qui portera notamment la démonstration de l'efficacité des actions de surveillance. Cette autorisation précisera les modalités envisagées pour la conservation et la transmission de la mémoire de l'installation pendant et après la phase de surveillance (article R. 593 75 VII du code de l'environnement).

3.3.6.3 Les activités de suivi des mesures environnementales

Les activités 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, prescrites à l'Andra dans les différentes autorisations administratives (dérogation d'atteinte aux espèces protégées, dite « dérogation CNPN », autorisations environnementales par exemple pour le défrichement, permis d'aménager, IOTA…). Des mesures du même type seront prescrites aux autres maîtres d'ouvrage du projet global.

Des activités de suivi des mesures environnementales seront prescrites à l'Andra et aux autres maîtres d'ouvrages dès l'engagement des premiers aménagements préalables du centre de stockage, pendant sa phase de construction initiale et pendant toute sa phase de fonctionnement.

Ces mesures peuvent être du même type que celles prescrites pour la surveillance environnementale : suivi des eaux souterraines, des eaux superficielles, de la qualité de l'air, des impacts sur les écosystèmes terrestres et aquatiques… (cf. Chapitre 2.4.2.7 du présent volume).

Les activités de suivi des mesures environnementales recouvrent en particulier les actions qui visent à vérifier l'efficacité des mesures prescrites de restauration des milieux, menées sur les sites de compensation. À des fins de cohérence et d'efficacité, les maîtres d'ouvrage du projet global coopèrent pour coordonner la mise en œuvre de l'ensemble des mesures de compensation.

Les activités de suivi des mesures environnementales seront concertées avec les riverains pour recueillir leurs sensibilités particulières, voire pour les associer à certains dispositifs de mesures".

LE PLAN DE SURVEILLANCE

L'ensemble des opérations de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales prescrites à l'Andra par les autorisations de l'ASN et par les autorisations préfectorales constitue un dispositif réglementaire global de surveillance des activités et des impacts environnementaux du centre de stockage Cigéo.

Il est regroupé et formalisé par l'Andra dans un plan de surveillance du centre de stockage Cigéo. Une première approche de ce plan est présentée dans le volume IV de la présente étude d'impact. Il couvre tous les compartiments de l'environnement. Il sera progressivement approfondi dans les versions ultérieures actualisées de l'étude d'impact, associées aux procédures administratives d'autorisation des opérations de travaux.

Synthèse – La description des installations des autres opérations

Les opérations du projet global Cigéo liés à la construction et au fonctionnement du centre de stockage Cigéo comprennent six opérations :

- l'opération « alimentation électrique » relative au raccordement sur la ligne existante 400 kV Houdreville/Mery ;
- l'opération « adduction d'eau » potable depuis les captages de Thonnance-lès-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-Le-Château ;
- l'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 » entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château ;
- l'opération « déviation de la route départementale D60/960 » ;
- l'opération « expédition et 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) ;
- les opérations de « caractérisation et surveillance environnementale » menées par l'Andra pour acquérir des connaissances et contrôler le fonctionnement de ses installations.

4

Le phasage du projet global Cigéo et la réversibilité du stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL

4.1	Les phases temporelles successives de déploiement du projet global Cigéo	252
4.2	La phase industrielle pilote	257
4.3	La réversibilité du stockage	259

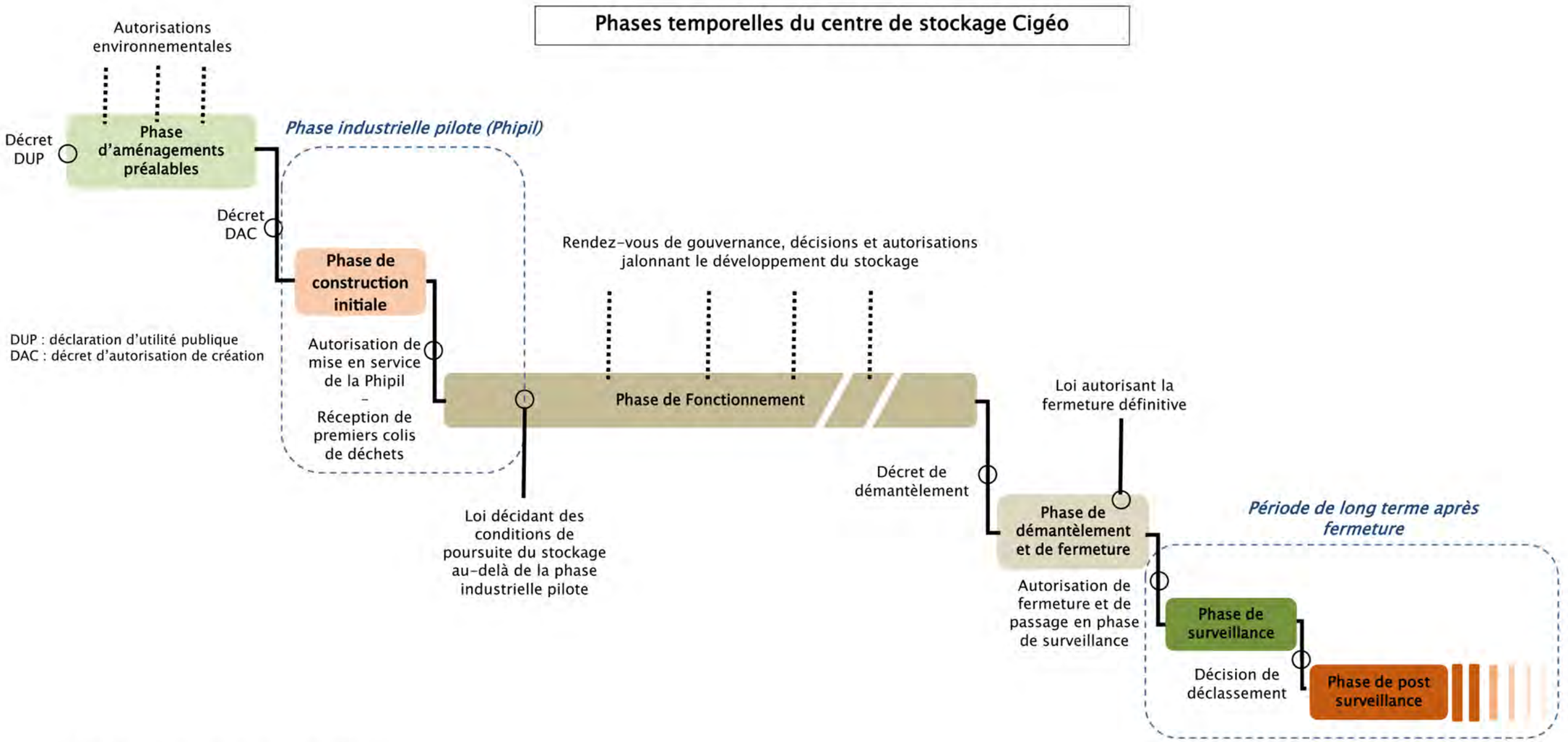
4.1 Les phases temporelles successives de déploiement du projet global Cigéo

Le phasage du projet global Cigéo est calé sur le phasage de déploiement du centre de stockage Cigéo.

Il regroupe plusieurs phases temporelles successives :

- la phase d'aménagements préalables qui débute à la délivrance du décret de déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo (et après l'obtention des autres autorisations nécessaires à la réalisation des travaux concernés) et se termine à la délivrance du décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) du centre de stockage Cigéo. Les aménagements préalables correspondent aux premiers travaux qui sont réalisés pour préparer la construction du centre (cf. Chapitre 4.1.1 du présent volume) ;
- la phase de construction initiale qui débute à la délivrance du décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo et se termine à la mise en service de cette installation nucléaire. Les travaux menés lors de la phase de construction initiale ont pour objectifs de réaliser tous les ouvrages qui permettent cette mise en service (cf. Chapitre 4.1.2 du présent volume) ;
- la phase de fonctionnement qui débute à la mise en service de de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo, c'est-à-dire à la réception de premiers colis de déchets radioactifs, et se termine à la délivrance de son décret de démantèlement. Elle se déroule pendant une centaine d'années au cours de laquelle auront principalement lieu des activités de réception et de stockage de colis de déchets et des travaux d'extension de l'installation souterraine, par tranches successives, afin de poursuivre la réception des colis de l'inventaire (cf. Chapitre 4.1.3 du présent volume) ;
- la phase de démantèlement et de fermeture qui débute à la délivrance du décret de démantèlement de l'INB Cigéo et se termine par la décision d'autorisation de fermeture et de passage en phase de surveillance. Cette phase comporte les opérations visant la fermeture définitive du centre de stockage que seule une loi peut autoriser (cf. Chapitre 4.1.4 du présent volume) ;
- les phases de surveillance et de post-surveillance qui ne concernent que le centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 4.1.5 du présent volume). Après la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo, la phase de surveillance commence à la décision d'autorisation de fermeture et de passage en phase de surveillance de l'INB Cigéo. Elle se termine avec la décision de déclassement de l'INB Cigéo. Pendant cette phase, la sûreté du stockage est assurée de façon passive. Après la décision de déclassement, la phase de post-surveillance débute.

Le code de l'environnement prévoit une phase industrielle pilote (Phipil) pour le centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 4.2 du présent volume). L'Andra propose que cette phase particulière couvre la phase de construction initiale et de premières années de la phase de fonctionnement. Cette proposition fera l'objet de concertations et pourra naturellement être modifiée sur la base des échanges avec les parties prenantes et le public.



CG-TE-D-MGE-AMOA-CM0-0000-20-0013-A

Figure 4-1 Les phases temporelles successives de déploiement du projet global Cigéo

4.1.1 La phase d'aménagements préalables

Les travaux menés lors de la phase d'aménagements préalables sur le centre de stockage Cigéo ont pour objectif de préparer les travaux de construction des installations du centre de stockage Cigéo. Comme pour tout projet, ces travaux sont engagés avant la construction proprement dite. Certains pourront se terminer après l'obtention du décret d'autorisation de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo durant la phase de construction initiale, en particulier les travaux de terrassement de plateformes.

Les travaux d'aménagements préalables sur le centre de stockage Cigéo visent d'abord la sécurisation des sites, la viabilisation et l'organisation des zones de surface pour y installer les premières entreprises de construction. Ils visent ensuite le terrassement des plateformes d'accueil des utilités (eau, électricité, télécom), puis ils s'étendent progressivement au terrassement de l'ensemble des zones de surface du centre de stockage Cigéo (zone descenderie, zone puits, liaison intersites, installation terminale embranchée). Ils sont décrits, à leur stade actuel de définition technique, au chapitre 5 du présent volume.

Les premières opérations de défrichement sont effectuées au sein du bois Lejuc. Elles concernent l'aire d'implantation des installations de surface de la zone puits et l'aire destinée à la gestion des déblais du Callovo-Oxfordien excaves lors des premiers creusements (Z1 des verses, cf. Chapitres 2.5.1.2 et 2.5.3.5 du présent volume) qui constituent une surface remaniée totale d'environ 136 ha.

De premières opérations de fouilles ont été prescrites à l'Andra suite aux diagnostics d'archéologie préventive réalisés en 2015-2016 par l'INRAP sur les surfaces retenues pour l'implantation de la zone descenderie et de l'ITE du centre de stockage Cigéo. Des diagnostics sur la zone puits et sur la zone d'implantation de la liaison intersites (LIS), sont à réaliser, suivis éventuellement de fouilles si des vestiges d'intérêt sont découverts (cf. Chapitre 5 du présent volume). Elles permettront de procéder aux travaux de construction du centre de stockage Cigéo sans craindre la destruction involontaire de vestiges dignes d'intérêt scientifique et patrimonial.

Sur la partie de la zone puits dédiée aux verses, seule une première zone est aménagée (cf. Chapitre 2.4.1.3.4b) et 2.5.3.5 du présent volume). Elle permet de gérer les déblais du Callovo-Oxfordien excavé lors du creusement des ouvrages souterrains nécessaires à la mise en service du centre de stockage. Elle sera étendue ultérieurement en lien avec l'extension progressive de l'installation souterraine.

L'ensemble des travaux d'aménagement préalables s'accompagne de la mise en œuvre des réseaux nécessaires aux installations de chantier, ainsi que des voiries structurantes permettant la circulation des flux des chantiers.

Des bassins et ouvrages d'assainissement permettent la gestion des eaux pluviales et des eaux de ruissellement durant les premières années des travaux avant la mise en fonctionnement des installations définitives. Des ouvrages d'assainissement sont réalisés pour la gestion des eaux usées des installations de chantier, dans l'attente de la mise en service des ouvrages prévus pour le fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

Certains de ces travaux, commencés pendant la phase d'aménagements préalables, pourront se terminer après l'obtention du décret d'autorisation, durant la phase de construction initiale, en particulier des travaux de terrassement des plateformes.

Les travaux menés pendant la phase d'aménagements préalables visent également les autres opérations du projet global Cigéo suivantes :

- opération « alimentation électrique du centre de stockage Cigéo » ;
- opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château » ;
- opération « déviation de la route départementale D60/960 » ;
- opération « adduction d'eau potable ».

Ils nécessitent des terrassements, la construction de bâtiments et le montage d'équipements (transformateurs, jeux de barre…). La pose des liaisons souterraines 90 kV et les travaux sur la ligne 400 kV sont également réalisés pendant la phase d'aménagements préalables.

Des activités de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales (forages, mesures sur le milieu naturel, inventaires) débutent pendant la phase d'aménagement préalables, dans et en dehors du périmètre du centre de stockage Cigéo.

4.1.2 La phase de construction initiale

Les principaux travaux menés pendant cette phase visent la construction des ouvrages permettant la mise en service de l'INB Cigéo, c'est-à-dire la réception de premiers colis de déchets radioactifs. Ils comprennent la construction des premiers bâtiments de surface, des liaisons surface-fond, ainsi que des ouvrages souterrains permettant de stocker de premiers colis de déchets.

Les principaux ouvrages construits et équipés sur le centre de stockage Cigéo, sous maitrise d'ouvrage Andra, sont :

- l'ouvrage de réception et de préparation des colis de déchets radioactifs avant leur stockage (EP1) et tous les bâtiments de surface liés à l'installation nucléaire de base (INB) du centre de stockage (en zones descenderie et puits – ZD et ZP) ;
- les liaisons surface-fond (descenderies et puits) et les zones souterraines de soutien logistique (en zone d'implantation des ouvrages souterrains - ZIOS) ;
- les ouvrages souterrains du quartier pilote HA et les premiers ouvrages du quartier de stockage des colis de déchets MA-VL (en zone d'implantation des ouvrages souterrains - ZIOS).

Pour permettre ces opérations de construction, différentes installations temporaires seront installées.

Des activités de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales (forages, mesures sur le milieu naturel, inventaires) sont menées pendant la phase de construction initiale, dans et en dehors du périmètre du centre de stockage Cigéo.

Dès le début de cette phase et sur les suivantes, les ouvrages des opérations sous la responsabilité des autres maitres d'ouvrage sont opérationnels ; seules des interventions de maintenance sont réalisées sur ces derniers.

4.1.3 La phase de fonctionnement

Pendant la phase de fonctionnement ont lieu des opérations de réception et de mise en stockage de colis et des travaux d'extension progressive de l'installation souterraine, par tranches successives, afin de poursuivre la réception des colis de l'inventaire. Des travaux de rénovation, de construction ou d'adaptation des bâtiments de surface sont également programmés.

Les principales périodes de stockage successives des colis envisagées sont :

- les premières années, réception et stockage de colis de déchets HA peu exothermiques et de colis de déchets MA-VL respectivement dans les ouvrages du quartier pilote HA et du quartier de stockage MA-VL, construits en phase de construction initiale ;
- puis, pendant environ 40 ans (jusqu'à l'horizon 2070-2080), réception et stockage de colis de déchets MA-VL dans les ouvrages construits en phase de construction initiale et dans de nouveaux alvéoles construits dans le quartier de stockage MA-VL durant la phase de fonctionnement ;
- puis, pendant environ 20 ans (jusqu'à l'horizon 2080-2100), réception de colis HA et de colis de déchets MA-VL dans les ouvrages construits précédemment et dans de nouveaux alvéoles construits dans le quartier de stockage HA et dans le quartier de stockage MA-VL durant la phase de fonctionnement. La réception des colis HA nécessitera, en phase de fonctionnement, de construire en surface de la zone descenderie une installation de réception et de préparation dédiée, dénommée « EP2 » ;
- enfin, pendant une durée de l'ordre de 50 ans (jusqu'à l'horizon 2150), poursuite de la réception et du stockage de colis de déchets HA dans les ouvrages déjà construits et dans de nouveaux alvéoles du quartier de stockage HA construits durant la phase de fonctionnement.

Cette chronologie est toutefois indicative et pourra être adaptée pour prendre en compte le retour d'expérience et les ajustements des chroniques de livraison des déchets à stocker, ainsi que les opérations qui seraient décidées dans le cadre de la réversibilité (cf. Chapitre 2.7.5 du présent volume). Les travaux d'extension progressive de l'installation souterraine, par tranches successives, seront organisés en fonction des futurs besoins et de la délivrance des autorisations associées.

Pendant le fonctionnement du centre de stockage Cigéo, les études sont poursuivies pour l'optimisation des tranches successives.

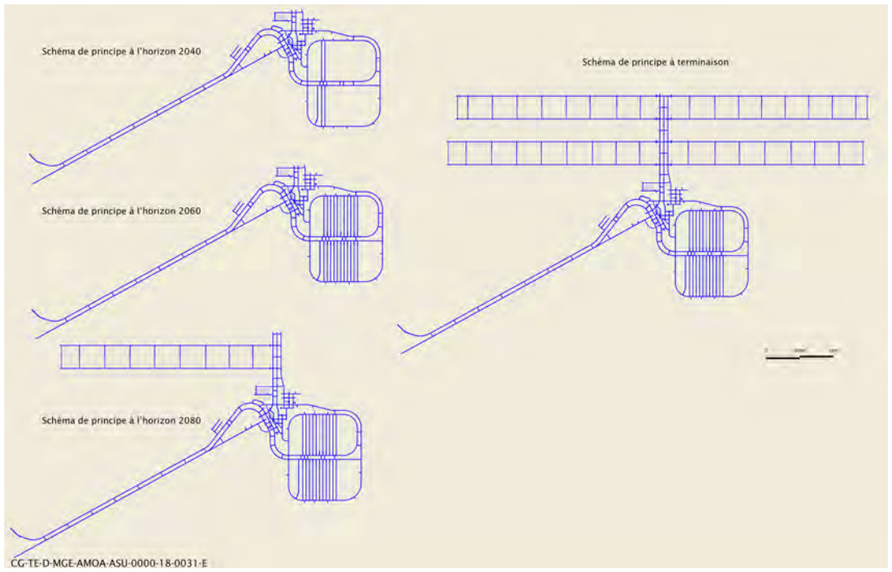


Figure 4-2 *Illustration du développement progressif des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo*

Le développement progressif du stockage et les creusements associés requièrent d'étendre progressivement la surface de la zone de gestion des déblais du Callovo-Oxfordien excavé (zone de verses), au-delà de celle préparée lors de la phase d'aménagements préalables. Une seconde partie du bois Lejuc sera défrichée et aménagée après investigations archéologiques (cf. Chapitres 2.5.1.2 et 2.5.3.5 du présent volume). Pendant toute la durée de l'exploitation, les déblais du Callovo-Oxfordien qui ne seront pas réutilisés pour la fermeture de l'installation souterraine à l'issue de son fonctionnement (verses mortes) seront expédiées hors du centre de stockage Cigéo pour leur valorisation.

Des opérations de maintenance sont réalisées pendant toute la durée de fonctionnement. Les différents types de maintenance sont :

- les opérations de maintenance préventive qui permettent de maintenir les taux de disponibilité des équipements et comprennent les contrôles réglementaires ;
- les opérations de maintenance corrective qui permettent une remise en état suite à une défaillance. Elles peuvent être réalisées pendant le fonctionnement, en privilégiant les temps de non-occupation des équipements ou des moyens.

Les opérations de maintenance sont réalisées en dehors des périodes de fonctionnement des équipements concernés, sauf en cas de nécessité d'intervention après défaillance. Elles sont complétées par des opérations de jouvence qui correspondent à des travaux de rénovation d'ampleur sur un système ou un bâtiment dans son ensemble. Ces opérations sont nécessaires compte tenu de la durée séculaire de fonctionnement du centre de stockage, notamment pour répondre aux problèmes d'obsolescence ou de vieillissement. Elles concernent essentiellement les bâtiments de surface. La conception des bâtiments privilégie les matériaux et les équipements permettant la rénovation des bâtiments afin de limiter les opérations de reconstruction.

Le cas échéant et sous réserve d'autorisation, la phase de fonctionnement comportera également des travaux de démantèlement partiels de certaines installations de surface, d'obturation d'alvéoles de stockage et de fermeture de quartiers de stockage remplis (cf. Chapitre 2.7.5 du présent volume).

Des activités de caractérisation, de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales (forages, mesures sur le milieu naturel, inventaires) sont également menées pendant la phase de fonctionnement, dans et en dehors du périmètre du centre de stockage Cigéo.

Durant cette phase, les ouvrages et équipements des autres opérations seront en exploitation.

4.1.4 La phase de démantèlement et de fermeture

La stratégie de fermeture est proposée dans la « Pièce 16 - Plan de directeur de l'exploitation » (PDE) (31) et les modalités de démantèlement, de fermeture et de surveillance après fermeture sont présentées dans la « Pièce 13 - Plan de démantèlement de fermeture et de surveillance » (PDFS) (218) constituant respectivement les pièces 16 et 13 du dossier de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo. Les travaux menés en surface pendant la phase de démantèlement et de fermeture comprennent des opérations de démontage d'équipements, d'assainissement des locaux et des sols, de destruction de structures de génie civil. La totalité des substances dangereuses et radioactives présentes dans les installations de surface est évacuée. Les bâtiments et ouvrages devenus inutiles sont démantelés et si nécessaire déconstruits. Les zones de surface sont réaménagées selon des objectifs et des usages qui seront définis, en fonction des enjeux, à l'horizon 2150. Elles pourront par exemple être reboisées, remises en culture et faire l'objet d'aménagements paysagers adaptés à la topographie et à l'environnement du site à cet horizon.

Des ouvrages de surface nécessaires aux activités de surveillance ultérieures, après fermeture, seront maintenus. Les parties du bâtiment « mémoire » abritant les archives historiques et les dispositifs mémoriels sont préservées pendant les opérations de démantèlement et elles sont conservées le plus longtemps possible après la phase de démantèlement et de fermeture, sans limite de durée présagée (*a priori* durant plusieurs centaines d'années) dans le cadre de la phase de surveillance du centre de stockage Cigéo.

En souterrain, pour garantir la mise en sécurité des déchets stockés sur de très longues périodes, les ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo doivent être refermés. En effet, le milieu géologique est choisi et l'installation de stockage est conçue de telle sorte qu'après la fermeture définitive de l'installation (scellement et remblayage 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 (cf. Chapitre 2 du présent volume). 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.

Pendant la phase de démantèlement, les opérations de préparation à la fermeture définitive des parties souterraines du centre de stockage consistent principalement, d'une part à des démontages d'équipements ne pouvant être laissés en place, d'autre part à des opérations de construction d'ouvrages complémentaires à la barrière géologique existante, conçus pour assurer le bon fonctionnement du stockage à très long terme (construction d'ouvrages en béton, pose de remblais, mise en place de scellements). Le remblayage des galeries se fait en réutilisant les déblais du Callovo-Oxfordien issus des creusements et conservés sous forme de verses sur la zone puits.

Une fois les opérations d'obturation d'alvéoles, de fermeture des quartiers et de remblayage des galeries des zones de soutien logistique terminées, la fermeture définitive peut être engagée, si celle-ci est décidée par le Parlement. La fermeture définitive consiste à sceller et à combler définitivement les puits et les descenderies qui permettent l'accès aux zones de stockage. Elle est actuellement envisagée à l'horizon 2150. La demande d'autorisation de fermeture de l'installation et de passage en phase de surveillance auprès de l'ASN ne sera pas déposée avant la promulgation de la loi autorisation la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo.

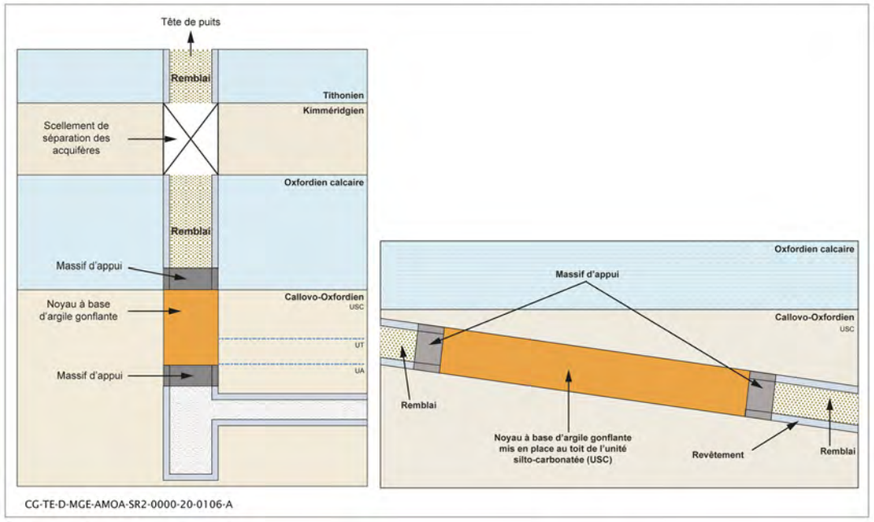


Figure 4-3 *Schéma illustratif de dispositifs de fermeture et de scellement des puits et des descenderies construits pour la fermeture définitive de centre de stockage Cigéo*

Durant la phase de démantèlement et de fermeture, les opérations des autres maîtres d'ouvrage (sauf l'expédition et le transport des déchets radioactifs) sont en fonctionnement et peuvent être utilisées par l'Andra. Le fonctionnement des opérations des autres maîtres d'ouvrage pourra être maintenu après la cessation des activités du centre si leur utilité perdure, notamment pour le territoire.

Des activités de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales sont également menées, dans et en dehors du centre de stockage Cigéo, pendant la phase de démantèlement et de fermeture.

Durant cette phase, les ouvrages et équipements des autres opérations seront en exploitation ; seules des opérations de maintenance seront réalisées sur ces derniers.

4.1.5 Les phases de surveillance et de post-surveillance

Pendant la phase de surveillance, la sûreté du stockage est assurée de façon passive. Seules perdurent les activités de surveillance visant à vérifier, par des mesures physico-chimiques, le bon fonctionnement du stockage et le respect des obligations réglementaires en matière de protection de l'environnement (cf. Chapitre 3.3.6 du présent volume).

Le fonctionnement du centre ayant cessé, il n'y a plus d'activité d'acheminement de matériaux et de colis. Le bâtiment mémoire et ses fonctions seront conservés.

La durée de la phase de surveillance sera précisée par les autorités. Elle couvrira plusieurs siècles, à l'instar de ce qui est prévu pour les centres de stockage de surface (cf. Chapitre 1.2.3.3 du présent volume). 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.

La phase de surveillance est associée à une période de contrôle institutionnel qui comprend le maintien de servitudes d'utilité publique. Le contrôle institutionnel peut aller au-delà de la phase de surveillance en particulier pour renforcer le maintien de la mémoire du site après sa fermeture.

Après la décision de déclassement de l'INB Cigéo commence la « post-surveillance ». Par définition elle n'a pas de fin. Elle correspond à la perspective temporelle visée par l'objectif de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs fixé par le code de l'environnement[162]. Elle est utilisée notamment dans les évaluations de sûreté. Elle permet de caractériser les impacts radiologiques et chimiques à très long terme après le déclassement de l'installation. L'évaluation de sûreté prend pour hypothèse la fin de tout contrôle institutionnel et la perte de la mémoire de l'existence du stockage. Le centre de stockage Cigéo est conçu pour que la sûreté puisse être garantie de façon totalement passive pendant cette phase (cf. Chapitre 2.5.2 du présent volume).

LE LONG TERME, LA SÛRETÉ PASSIVE ET LA MÉMOIRE DU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO

Le centre de stockage Cigéo est conçu pour être fermé à la fin de sa phase de fonctionnement afin de protéger durablement les personnes et l'environnement sans nécessiter d'interventions humaines ultérieures. La sûreté sera alors assurée de manière passive.

La sûreté passive n'implique en aucun cas d'oublier la présence des déchets et de l'installation. Au contraire, sa mémoire du stockage constitue un élément qui contribue à la protection de l'Homme et de l'environnement. Elle réduit par exemple les risques d'une intrusion involontaire dans le stockage, par exemple par un forage. Toutefois, même si un forage devait involontairement traverser le stockage, les conséquences à long terme resteraient limitées compte tenu de la conception du stockage (cf. Chapitres 2.2.6.1 et 2.5.2 du présent volume).

La mémoire de l'existence du centre de stockage, de sa fonction, de la dangerosité des déchets qu'il renferme et de sa conception dépend de la pérennité des mesures mises en œuvre lors de l'archivage des documents institutionnels et des dispositifs de transmission intergénérationnelle.

L'Andra travaille à développer des dispositifs pour favoriser la transmission intergénérationnelle des connaissances des déchets et de leur lieu de stockage, considérant ces connaissances comme un patrimoine collectif et mémoriel de ce que notre civilisation a créé.

Dans son guide n° 1 (43) relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde, l'ASN indique que la perte de mémoire de l'existence du stockage peut être raisonnablement située au-delà de 500 ans après sa fermeture définitive. En tout état de cause, après la fermeture définitive du centre de stockage, la protection de la santé de l'homme et de l'environnement ne doit pas uniquement dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée, même sur plusieurs siècles.

Le centre de stockage Cigéo est conçu de manière à protéger de manière passive les personnes et l'environnement, même si la mémoire de son existence venait à disparaître.

[162] L'article L. 542-1 du code de l'environnement 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* ».

4.2 La phase industrielle pilote

4.2.1 L'origine de la phase industrielle pilote et son inscription dans la réglementation

En complément des phases temporelles successives de déploiement du projet décrites au chapitre 4.1 du présent volume, le code de l'environnement prévoit une phase industrielle pilote pour le centre de stockage Cigéo (article L. 542-10-1).

La phase industrielle pilote (Phipil) a été introduite dans le projet par l'Andra suite au débat public mené en 2013 sur le projet de centre de stockage Cigéo.

Les échanges avec le public ont fait apparaître la demande d'une phase progressive et prudente pour la construction, les essais et le démarrage de cette installation unique compte tenu de sa profondeur, de ses dimensions inhabituelles et des très longues durées pour lesquelles elle est conçue.

La loi du 25 juillet 2016 (37) a retenu le principe d'une phase industrielle pilote (Phipil) pour un centre de stockage géologique en disposant d'un certain nombre d'objectifs repris dans le code de l'environnement (article L. 542-10-1).

» LES OBJECTIFS DE LA PHASE INDUSTRIELLE PILOTE DANS LE CODE DE L'ENVIRONNEMENT

L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement fixe des objectifs et des contraintes pour la phase industrielle pilote (Phipil).

L'exploitation du centre de stockage commence par une phase industrielle pilote.

La phase industrielle pilote permet de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté du centre de stockage, notamment par un programme d'essais *in situ*.

Elle comporte des essais de récupération de colis de déchets.

Tous les colis de déchets doivent rester aisément récupérables durant la Phipil.

Les résultats de la phase industrielle pilote font l'objet :

- d'un rapport de l'Andra ;
- d'un avis de la Commission nationale d'évaluation (CNE) ;
- d'un avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) ;
- du recueil de l'avis des collectivités territoriales.

Le rapport de l'Andra, accompagné des avis de la CNE et de l'ASN, est évalué par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) qui rend compte de ses travaux aux commissions compétentes de l'Assemblée nationale et du Sénat.

Le Gouvernement présente un projet de loi adaptant les conditions d'exercice de la réversibilité du stockage et prenant en compte, le cas échéant, les recommandations de l'OPECST.

Dans la loi de 2016 (37), le Parlement a associé à la phase industrielle pilote un nouveau jalon législatif. Sur la base d'un rapport produit par l'Andra pour présenter les résultats des premières années de l'exploitation du centre de stockage Cigéo, et après un processus d'instruction spécifique, une nouvelle loi sera présentée par le Gouvernement pour décider des conditions de poursuite du projet. Le centre de stockage Cigéo est, à ce jour, la seule installation nucléaire de base (INB) pour laquelle la règlementation prévoit, après son autorisation par décret, un rendez-vous législatif conditionnant son éventuelle poursuite.

Le débat public mené en 2019 sur le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) a confirmé l'importance de la Phipil pour les parties prenantes en termes de gouvernance, de sûreté et de réversibilité (143). Les objectifs et les critères de réussite de la phase industrielle pilote seront fixés par le PNGMDR (article 8 de la décision de la ministre de la transition écologique et solidaire et du président de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les suites à donner au débat public PNGMDR (143).

L'Andra a formalisé, dans un dossier concertation publié en janvier 2021, ses propositions en matière de phase industrielle pilote du centre de stockage Cigéo (142). Les éléments relatifs à la concertation sur la phase industrielle pilote (Phipil) sont présentés au Chapitre 2.6.2.3.1 du présent volume).

4.2.2 Les apports techniques de la phase industrielle pilote

En termes de déclinaison technique, la phase industrielle pilote (Phipil) vies à :

- continuer les investigations et améliorer les connaissances milieu géologique ;
- conforter les données utilisées pour la conception du stockage et pour sa démonstration de sûreté ;
- contrôler les performances des procédés industriels de creusement ;
- construire des démonstrateurs ;
- contrôler et d'éprouver la qualité des ouvrages construits et leur fonctionnement industriel ;
- mener les essais de démarrage pour prendre en main l'exploitation de l'installation industrielle ;
- valider les grandes modalités de stockage prévues ;
- conforter la capacité à surveiller les alvéoles, à maîtriser l'évolution de leur comportement dans le temps et à les exploiter ;
- procéder pendant quelques années à des opérations industrielles de stockage en vue d'obtenir un retour d'expérience solide du fonctionnement.

4.2.3

En termes de gouvernance, la Phipil concrétise une approche visant à « *garantir la participation des citoyens tout au long de la vie* » du centre de stockage Cigéo, telle qu'exigée par le code de l'environnement (article L. 542-10-1). Cette approche est renforcée par l'exigence réglementaire de produire et de mettre à jour tous les cinq ans, « *en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public* », un plan directeur de l'exploitation (PDE) (article L. 542-10-1). Cette mise à jour concertée du PDE d'effectue en parallèle des revues périodiques de réversibilité et des réexamens périodiques de sûreté (article L 593-18). Le centre de stockage Cigéo est la seule installation nucléaire de base (INB) pour laquelle un tel processus de participation et de gouvernance a été créé par la réglementation. Il garantit que le stockage sera développé sous le regard et le contrôle des parties prenantes et des citoyens.

La définition du schéma de gouvernance du centre de stockage Cigéo est prévue dans la feuille de route actuelle de l'Andra pour la concertation à l'échelle locale et nationale (cf. Chapitre 2.6.2.3 du présent volume)[164]. À cet égard, lors de premiers échanges, les parties prenantes (ANCCLI, Clis, syndicats…) ont identifié la Phipil comme une des phases essentielles pour la gouvernance et ont souhaité contribuer à la définition des modalités d'échanges et de décisions pour le centre de stockage Cigéo et pour les déchets qui lui sont destinés.

En pratique, les premières années après l'éventuelle délivrance du décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo constituent, pour la participation du public et des parties prenantes, une phase de mise en place, de rodage et d'acquisition de connaissance, au même titre que les essais dans l'installation pour les aspects techniques. Le schéma de gouvernance pourra être modifié et renforcé sur la base du retour d'expérience de son fonctionnement. L'expérience acquise en matière de gouvernance et d'échanges avec le public sera présenté dans le rapport qui sera produit par l'Andra et transmis pour instruction dans l'optique d'une décision du Parlement sur les conditions de poursuite du stockage. Dans son examen des conditions de poursuite

[164] L'objectif de l'Andra est de proposer, dans le cadre de la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo, un schéma de gouvernance concerté avec les parties prenantes ou, *a minima*, des modalités partagées de co-construction de ce schéma avec la société, à mettre en œuvre pendant l'instruction de la demande d'autorisation de création (DAC). Cette concertation est encadrée par les garants de la Commission nationale du débat public (CNDP).

éventuelle du projet, le Parlement accordera probablement une importance particulière au bon fonctionnement de la gouvernance du centre de stockage.

L'Andra est convaincue que, dès lors que la Phipil sera menée dans le respect des principes de gouvernance définis avec les parties prenantes et les citoyens, elle jouera un rôle essentiel dans la construction de la confiance nécessaire à la réussite du projet global Cigéo.

L'Andra a formalisé, dans un dossier concertation publié en mai 2021, ses propositions en matière de gouvernance du centre de stockage Cigéo (142). La concertation actuellement en cours se poursuivra jusqu'à fin 2021 (cf. Chapitre 2.6 du présent volume). Le déroulement et l'issue de la phase industrielle pilote

L'Andra propose que la phase industrielle pilote (Phipil) s'organise en deux grandes parties :

- pendant la première partie de la Phipil, l'Andra construira l'installation nucléaire Cigéo, puis vérifiera son fonctionnement par des essais en « inactif », c'est-à-dire sans colis de déchets radioactifs ;
- pendant la seconde partie de la Phipil, qui commencera après l'autorisation de la mise en service de l'installation nucléaire, l'Andra utilisera des colis de déchets radioactifs pour mener les essais de démarrage en « actif », puis procédera à des opérations de stockage de colis de déchets radioactifs.

Cette proposition fera l'objet de concertations et pourra naturellement être modifiée sur la base des échanges avec les parties prenantes et le public.

En 2020, suite au débat public mené dans le cadre de la préparation de la cinquième édition du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) (143), la ministre de la Transition écologique et solidaire et le président de l'Autorité de sûreté nucléaire ont décidé que le PNGMDR « *définira les objectifs et les critères de réussite de la phase industrielle pilote* ».

Cette décision permet de clarifier les rôles et périmètres respectifs de l'Andra et de l'État :

- il appartient à l'Andra, en tant que maître d'ouvrage du centre de stockage Cigéo et exploitant de son installation nucléaire, de faire des propositions en matière de déploiement et de fonctionnement du centre de stockage pendant ses premières années. En cela, le PDE constitue la première proposition « *des enjeux de la Phipil* » appelée par la cinquième édition du PNGMDR (action HA-MA-VL.6) ;
- il appartient à l'État, maître d'ouvrage du PNGMDR, de définir un ensemble d'objectifs et de critères qui encadreront, du point de vue réglementaire, la phase industrielle pilote de l'installation nucléaire Cigéo.

De façon globale, la phase industrielle pilote (Phipil) proposée par l'Andra repose sur l'objectif de consolider progressivement, de concerter et, autant que possible, de partager les éléments de connaissances à apporter au Parlement en support de sa décision sur les conditions de poursuite du stockage et sur les modalités de cette poursuite si elle était décidée. Dit autrement, la Phipil vise principalement à décider de la nature de la phase qui la suivra et à préparer cette phase suivante.

Au vu du retour d'expérience acquis lors de la construction, puis du fonctionnement du centre de stockage Cigéo sur plusieurs années, l'Andra préparera un rapport de synthèse de la Phipil pour le Parlement afin qu'il décide des conditions de poursuite du projet. Il s'agira *a priori*, soit de renoncer à cette filière de gestion des déchets pour tout ou partie des déchets HA et MA-VL, soit d'engager la phase suivante de développement du centre de stockage Cigéo, éventuellement en modifiant sa conception ou ses modalités d'exploitation et de développement.

Si, sur la base des enseignements acquis pendant la Phipil, la décision du Parlement est de poursuivre le déploiement du centre de stockage Cigéo, une nouvelle étape de son déploiement pourra être engagée, dans la même logique de progressivité et d'échanges. L'Andra préparera un dossier de mise en service de la phase suivante d'exploitation tenant compte des nouvelles orientations fixées par la loi. Des modifications pourront éventuellement être apportées au projet, en fonction du retour d'expérience et des éventuelles avancées technologiques. L'Andra transmettra aux autorités, pour instruction, les éléments requis par la réglementation en vigueur. L'autorisation de mise en service de la phase suivante sera délivrée par l'ASN dans les conditions fixées par le Parlement.

Si, sur la base des enseignements acquis pendant la Phipil, la décision du Parlement est de renoncer au stockage, pour tout ou partie des déchets HA et MA-VL, alors l'Andra préparera un dossier de demande de démantèlement et de fermeture total ou partiel du centre de stockage Cigéo qu'elle transmettra aux autorités. Les colis éventuellement concernés pourront être retirés et expédiés, hors du centre, vers la filière de gestion qui aura été choisie, dans les conditions fixées par le Parlement. Le centre de stockage sera ensuite démantelé et fermé conformément aux prescriptions qui seront fixées à l'Andra par le Gouvernement et dans le cadre d'exploitation autorisé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

Entre ces deux possibilités (arrêt ou poursuite nominale), une grande variabilité de déroulements de la phase industrielle pilote est possible[165]. Des prescriptions de l'État pourraient conduire à de nouveaux jalons décisionnels. Des approfondissements et des compléments techniques, des reports ou des réorientations, pourront être demandés par le Parlement.

Ainsi définie, la phase industrielle pilote couvre la construction initiale, la mise en service et les premières années de la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo. En termes de gouvernance, la Phipil concrétise une approche visant à « garantir la participation des citoyens tout au long de la vie » du centre de stockage Cigéo, telle qu'exigée par le code de l'environnement (article L. 542-10-1). Cette approche est renforcée par l'exigence réglementaire de produire et de mettre à jour tous les cinq ans, « *en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public* », un plan directeur de l'exploitation dit PDE (article L. 542-10-1). Cette mise à jour concertée du plan directeur de l'exploitation (31) s'effectue en parallèle des revues périodiques de réversibilité et des réexamens périodiques de sûreté (article L. 593-18).

PRINCIPAUX JALONS DECISIONNELS DE LA PHASE INDUSTRIELLE PILOTE

Le déroulement de la phase industrielle pilote proposée par l'Andra est marquée par quatre principaux jalons décisionnels :

- l'autorisation de création de l'installation nucléaire du centre de stockage Cigéo après laquelle la Phipil commence. Cette autorisation est délivrée par un décret du Gouvernement après avis du Conseil d'État ;
- l'autorisation de mise en service, délivrée par l'ASN, qui autorise à recevoir des colis de déchets sur le centre de stockage et à les stocker ;
- la loi votée par le Parlement qui fixe les conditions de poursuite du stockage et modifie éventuellement les conditions de sa réversibilité ;
- l'autorisation de la phase suivante de l'exploitation du stockage, quelle que soit sa nature.

4.2.4 Les impacts environnementaux de la phase industrielle pilote

Si elle présente une importance capitale en termes de gouvernance, du développement technique et de décision politique (jalon législatif), la phase industrielle pilote n'entraîne pas d'impacts environnementaux spécifiques ou supplémentaires par rapport à ceux évalués pour la phase de construction initiale (cf. Chapitre 4.1.2 du présent volume) et pour la phase de fonctionnement (cf. Chapitre 4.1.3 du présent volume) sur lesquelles elle est positionnée temporellement.

Dans la présente étude d'impact, la phase industrielle pilote ne fait donc pas l'objet d'une évaluation d'impact distincte. Ses impacts sont couverts par ceux des phases de construction initiale et de fonctionnement (cf. Volume IV de la présente étude d'impact).

[165] La variabilité affecte potentiellement toute la durée de la Phipil. Toutefois, les évolutions affectant la construction initiale ne modifient pas les étapes d'essais et d'autorisation de mise en service qui sont des passages réglementaires obligés avant de recevoir des colis de déchets. La variabilité est plus grande après la mise en service du point de vue des processus réglementaires possibles et de la préparation des différents types de phase suivante.

4.3 La réversibilité du stockage

4.3.1 Le concept de réversibilité et les exigences réglementaires

La préoccupation éthique de réversibilité trouve son origine dans l'échelle de temps qu'implique la gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL. Compte tenu de la durée d'ordre séculaire prévue pour le fonctionnement du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 4.1.3 du présent volume), environ cinq générations successives devraient l'exploiter. Notre génération, qui envisage de créer cette installation, a donc le devoir de ne pas enfermer les générations futures dans des choix de conception faits au lancement du projet. La réversibilité des décisions est donc au cœur de l'approche technique et sociétale pour le développement du stockage géologique et c'est dans ce sens que l'Andra développe le centre de stockage Cigéo pour qu'il soit réversible.

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 du stockage permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets (suite notamment à une évolution de la politique énergétique). Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage* ».

Cette notion est également celle de la directive européenne de 2011 qui indique que « *la réversibilité et la récupérabilité en tant qu'éléments d'exploitation et de conception peuvent servir à orienter la mise au point technique d'un système de stockage* » ((11) considérant 23).

Le code de l'environnement fixe des objectifs en matière de réversibilité. Il définit le stockage de déchets radioactifs comme « *l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive* [...] *sans intention de les retirer ultérieurement* » (article L 542-1-1) et précise, pour le stockage géologique, qu'il est réalisé « *dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité* ».

Pour le stockage géologique, le code de l'environnement indique également que pendant la phase industrielle pilote, qui doit servir à conforter le caractère réversible de l'installation, tous les colis de déchets « *doivent rester aisément récupérables* » (article L. 542-10-1).

La loi qui déterminera les conditions de poursuite du projet sur la base des résultats de la phase industrielle pilote « *adaptera les conditions d'exercices de la réversibilité du stockage* ». De plus, « *des revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité* [...] *sont organisées au moins tous les cinq ans* », en articulation avec les réexamens de sûreté et les mises à jour du plan directeur pour l'exploitation (PDE) du centre de stockage (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

La réversibilité du centre de stockage Cigéo est caractérisée par sa capacité à évoluer, dans le futur, pour accompagner et faciliter les décisions qui seront prises en matière de gestion des déchets radioactifs. Elle fera l'objet d'un examen technique lors de l'instruction de la demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo et constituera, avec la sûreté et l'impact environnemental, une des conditions fondamentales pour la délivrance de cette autorisation.

La réversibilité de l'INB Cigéo comprend donc :

- la progressivité de la construction, correspondant à l'enchaînement prudent d'opérations de construction et de mises en service successives et offrant la possibilité aux générations futures d'améliorer progressivement les ouvrages des extensions pour bénéficier des meilleures technologies ;
- la flexibilité de l'exploitation du stockage correspondant à la capacité du centre de stockage Cigéo, une fois construit, à absorber des variations de son programme industriel sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction d'ouvrages nouveaux et permettant aux générations futures de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets (possibilité de faire évoluer l'ordre et le rythme d'arrivée des colis de déchets radioactifs, de faire évoluer les modes de conditionnement prévus et de reprogrammer les dates de fermeture) ;
- l'adaptabilité de la conception, correspondant à la capacité à modifier les installations pour les adapter, en particulier à des modifications de son inventaire (évolution possible du nombre et du type de déchets radioactifs à stocker) en analysant les impacts de l'inventaire de réserve sur la conception du stockage éventuel ;
- la récupérabilité des colis pendant toute la durée du fonctionnement du centre de stockage Cigéo, c'est-à-dire la capacité à retirer des colis de déchets d'installation de stockage en couche géologique profonde.

Ainsi la réversibilité permet davantage que la seule récupérabilité. En effet, c'est bien la réversibilité qui induit de ne pas construire l'ensemble des ouvrages au départ ou encore de démarrer par une phase industrielle pilote.

La durée minimale pendant laquelle, à titre de précaution, la réversibilité du stockage doit être assurée sera fixée par l'autorisation de création du centre de stockage Cigéo. La loi impose que cette durée ne soit pas inférieure à cent ans.

La mise en œuvre de la réversibilité pourra modifier le phasage et le déroulement des opérations prévues actuellement.

Les modalités d'information du public entre deux mises à jour du plan directeur d'exploitation (PDE), les jalons décisionnels du projet de centre de stockage Cigéo, ainsi que la gouvernance à mettre en œuvre afin de pouvoir réinterroger les choix effectués seront fixés par le plan national de gestion de matières et déchets radioactifs (PNGMDR) (article 8 de la décision de la ministre de la transition écologique et solidaire et du Président de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les suites à donner au débat public PNGMDR (143)).

Le présent chapitre a pour objectif de présenter au stade actuel de définition, les possibilités qu'offre la réversibilité en matière de déploiement du stockage et en termes de modification du contenu des phases présentées au chapitre 4.1 du présent volume.

La construction progressive correspond à la programmation de référence du déploiement du centre de stockage Cigéo sur la durée séculaire de ses phases de construction initiale, de fonctionnement, ainsi que de démantèlement et de fermeture.

Potentiellement, les autres volets de la réversibilité pourraient aussi être considérés comme des mesures d'évitement potentielles d'incidences sur le sous-sol, s'il était un jour décidé de les mettre en œuvre :

- le retrait éventuel de colis pourrait permettre de réorienter tout ou partie des colis de déchets vers un mode de gestion alternatif si leur stockage dans le centre de stockage Cigéo n'était plus considéré comme la meilleure solution environnementale à long terme ;
- l'adaptabilité permettrait, si un élargissement de l'inventaire de référence était décidé, d'accroître la capacité du centre de stockage Cigéo ;
- la flexibilité permet également, dans une certaine mesure, d'accepter des modifications du programme d'expédition et des modes de conditionnement des déchets et donc à ne pas avoir à créer une autre installation d'entreposage, voire de stockage, si ces évolutions s'avéraient impératives.

Il faut toutefois souligner que, si ces trois volets particuliers de la réversibilité constituent, conformément aux exigences du code de l'environnement, des possibilités de choix offertes aux générations successives. Elles ne seront mises en œuvre que si elles répondent à un besoin concret soit de l'exploitant, soit de la société. Ce sont des opportunités offertes de prendre, ou non, dans le futur, des décisions dont certaines seraient susceptibles d'éviter des incidences sur le sous-sol. Ce sont donc des mesures potentielles, qui ne peuvent pas être considérés au même titre que les autres mesures d'évitement que l'Andra introduit concrètement dans son projet.

Par ailleurs, les décisions de mise en œuvre de la réversibilité, en particulier celle d'élargir l'inventaire à stocker ou de rediriger tout ou partie des colis stockés vers d'autres filières ne sont pas du ressort de l'Andra. Elles seraient prises au niveau ministériel, après avis de l'ASN, et seraient encadrés par les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

4.3.2 Le concept de progressivité de la construction

Le développement progressif du centre de stockage Cigéo correspond à un enchaînement prudent d'opérations de construction et de mises en service successives de parties du centre de stockage sur toute la durée de sa construction initiale et de son fonctionnement puis d'opérations de démantèlement et de fermeture des installations et ouvrages. La programmation de ces opérations pourra être revue pour accélérer, retarder ou modifier la construction et la mise en service de ces extensions et leur fermeture.

Associé à l'adaptabilité de sa conception (cf. Chapitre 4.3.4 du présent volume), le principe d'un développement progressif offre la possibilité aux générations futures d'adapter les ouvrages qui seront construits pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage à d'éventuelles évolutions d'inventaire.

La progressivité de la construction favorise l'intégration aux futures tranches de construction, de toutes les améliorations qui seront rendues possibles par les progrès scientifiques et techniques et par le retour d'expérience acquis sur la durée d'ordre séculaire du projet. Dès lors qu'une meilleure solution technique aura été développée et aura atteint un degré de maturité technologique suffisant, elle pourra, sous réserve de son autorisation, être intégrée aux ouvrages à construire du centre de stockage. À ce titre, la construction et l'exploitation du quartier pilote HA, dès la phase industrielle pilote (Phipil), permet de disposer d'un retour d'expérience précieux pour la définition technique, la construction, l'exploitation et la surveillance des quartiers de stockage HA qui seront mis en œuvre une quarantaine d'années après, à l'horizon 2070-2080.

De plus, la progressivité de la construction permet aux générations successives de modifier le programme de construction des extensions pour stocker les colis de déchets radioactifs en tenant compte des besoins industriels. Pendant la phase de fonctionnement, la construction des tranches sera programmée en lien avec les décisions systémiques relatives au maintien et au renouvellement de leurs capacités d'entreposage en surface, prises dans le cadre de la gouvernance de la gestion des déchets radioactifs.

Enfin, elle donne également le temps de lever prudemment les incertitudes résiduelles relatives à certains modes de conditionnement et à leurs modalités de mise en stockage. Ces incertitudes concernent notamment les colis de déchets bitumés (67) et des déchets MA-VL non encore conditionnés et dont le mode de conditionnement reste donc à confirmer. Les alvéoles seront construits et les colis de déchets seront mis en stockage progressivement, au fur et à mesure de la consolidation de leurs démonstrations de sûreté, de leurs autorisations par l'ASN et de la vérification de la conformité des colis de déchets aux spécifications d'acceptation du centre de stockage.

Les décisions de modification du programme de construction progressive du centre de stockage Cigéo seront intégrées au processus de gouvernance et intégrées aux revues périodiques de réversibilité et aux mises à jour du plan directeur de l'exploitation (PDE).

4.3.3 Le concept de flexibilité de l'exploitation

La flexibilité de l'exploitation est définie comme la capacité du centre de stockage Cigéo, une fois construit, à absorber des variations de son programme industriel (chronique de réception des colis, flux de réception, date d'obturation d'alvéoles ou de quartiers de stockage) sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction d'ouvrages nouveaux.

Elle offre la possibilité aux générations futures de décaler ou d'accélérer (dans certaines limites liées aux performances des équipements, à leur taux d'utilisation et à la disponibilité des opérateurs) les flux de colis reçus sur le centre de stockage Cigéo. Cette situation pourrait par exemple être rencontrée si un producteur de déchets souhaitait expédier vers le centre de stockage Cigéo un type de colis de déchets à une échéance ou à un rythme différent que ceux initialement prévus.

En termes de flexibilité, l'installation est également conçue de telle sorte que sa sûreté ne soit pas dépendante de l'ordre dans lequel les colis lui sont livrés. Sous réserve de respect des spécifications d'acceptation et de conformité aux procédures qui seront mises en place pour la livraison, les colis d'une famille peuvent être reçus et stockés dans les alvéoles les concernant sans que l'exploitation soit contrainte par un ordre préétabli.

La flexibilité permet aussi de recevoir et de stocker des colis de déchets dans une gamme de formes, de dimensions et de masses variables. Elle permet de faire évoluer les modes de conditionnement prévus pour les colis de déchets, principalement MA-VL, dans la mesure où ceux-ci respectent les spécifications d'acceptation sur le centre de stockage Cigéo.

La flexibilité permet également d'offrir aux générations futures la possibilité de modifier le scénario de fermeture. Les conteneurs et les ouvrages de stockage sont conçus de façon suffisamment robuste pour que le calendrier de leur obturation puisse être retardé ou avancé, sans préjudice pour la sûreté.

Le scénario de fermeture est une organisation et une représentation de la succession des opérations nécessaires à la mise en sécurité passive du stockage.

Les principales opérations d'un scénario de fermeture visent à obturer les alvéoles de stockage des colis de déchets, à fermer les quartiers de stockage et les zones de soutien logistique, et lors de la dernière étape, dite de « fermeture définitive », à sceller et à remblayer les accès depuis la surface (puits et descenderie). En pratique, ces opérations recouvrent des démontages d'équipements et la construction d'ouvrages et de composants (murs, remblais, scellements) qui participent à la sûreté à long terme du stockage en complément de la barrière géologique (cf. Chapitre 4.1.4 du présent volume).

En phase d'avant-projet, différents scénarios de fermeture ont été étudiés afin d'établir un scénario de fermeture de référence du centre de stockage Cigéo.

Trois types d'échéances ont été considérées pour l'obturation des alvéoles de stockage :

- « au fil de l'eau » (au plus tôt après le remplissage ou par tranches de 10 ans) pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage ;
- à la fin du remplissage de chaque quartier pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage ;
- à l'issue du fonctionnement du centre de stockage Cigéo, pendant la phase de démantèlement et de fermeture du centre de stockage.

Chaque scénario a été analysé au regard des critères suivants :

- la sécurité/sûreté en exploitation qui appelle principalement la limitation des risques de coactivité entre les activités nucléaires (exploitation et mise en stockage des colis) et les travaux de réalisation des ouvrages de fermeture ;
- la préservation d'une durée de surveillance importante des alvéoles et des quartiers de stockage après leur construction (plusieurs dizaines d'années) ;
- la mise en œuvre d'une démarche progressive permettant d'acquérir de l'expérience sur les opérations de fermeture ;
- la limitation de la perturbation générée par les opérations de fermeture sur le service industriel (gestion des flux de mise en stockage). En effet, les opérations de fermeture d'alvéoles et de quartiers peuvent constituent des opérations lourdes qui ne sont pas toujours compatibles avec la poursuite des opérations de mise en stockage en parallèle dans d'autres parties de l'installation souterraine ;
- l'optimisation technico-économique, en particulier la recherche d'une efficacité des travaux de fermeture en évitant leur fractionnement.

Les scénarios correspondant à l'obturation des alvéoles au fil de l'eau présentent des inconvénients pour la sûreté en exploitation (introduction de risques liés aux travaux et à la coactivité), induisent une perturbation du service industriel de mise en stockage, conduisent à réduire la durée de la surveillance et rendent précocement plus complexe la récupérabilité.

Le scénario correspondant à une obturation de la totalité des alvéoles à la fin du fonctionnement ne permet pas d'acquérir un retour d'expérience des opérations d'obturation et de la surveillance des alvéoles et quartiers obturés.

L'Andra a mené une analyse de différents critères pour préciser un scénario de référence. Le scénario retenu est jalonné par trois grandes étapes d'obturation organisées par tailles et complexités croissantes.

Ainsi, le schéma de fermeture graduel proposé par l'Andra à ce stade (cf. Figure 4-4) correspondant à l'obturation des alvéoles et à la fermeture des quartiers correspondants au même horizon temporel. Ces opérations seront menées à différents stades du déploiement du stockage, pendant la phase de fonctionnement et pendant la phase de démantèlement et de fermeture :

- fermeture du quartier pilote HA à l'horizon 2080, après environ 40 ans de fonctionnement et de surveillance ;

- fermeture du quartier de stockage MA-VL à l'issue de son remplissage, à l'horizon 2100, après environ 60 ans de fonctionnement et environ 20 ans après la fermeture du quartier pilote HA ;
- fermeture des quartiers de stockage HA à l'issue de leur remplissage, à l'horizon 2150, après environ 70 ans de fonctionnement et environ 50 ans après la fermeture du quartier de stockage MA-VL.

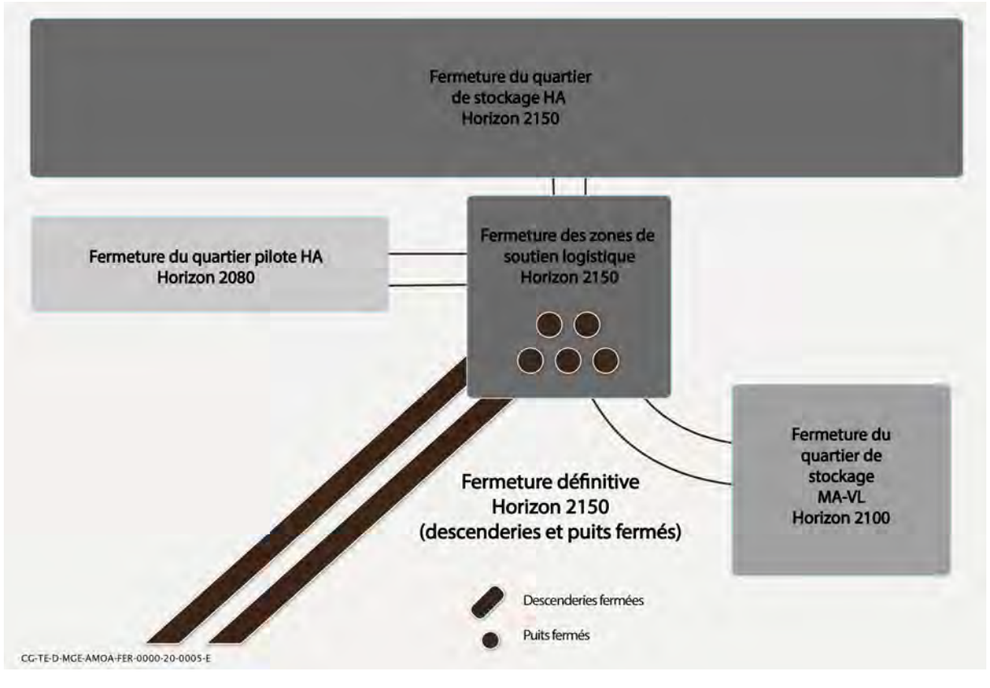


Figure 4-4 *Représentation schématique du scénario de fermeture de référence proposé par l'Andra sur dans la version de 2016 du plan directeur pour l'exploitation du centre de stockage Cigéo (92)*

Ce scénario repose donc sur trois grandes étapes de fermeture organisées par taille et complexité croissantes.

Ainsi, l'obturation du quartier pilote HA permet d'acquérir du retour d'expérience qui sera mis à profit pour l'obturation du quartier de stockage MA-VL. Celle du quartier de stockage MA-VL procure de l'expérience pour le quartier de stockage HA. Les opérations d'obturation peuvent ainsi être améliorées en vue d'une efficacité et d'une performance croissantes. Chaque quartier est obturé en une seule et même opération regroupant le démontage des équipements, la construction des ouvrages d'obturation de tous les alvéoles et le remblayage des galeries d'accès. Dans le scénario de référence actuel, la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo interviendra pendant la phase de démantèlement, à l'horizon 2150.

Le schéma de fermeture proposé dans le dossier de demande d'autorisation de création de l'INB n'est pas figé. La conception de l'installation nucléaire du centre de stockage Cigéo et la flexibilité de son exploitation offre la possibilité de schémas de fermeture plus progressifs et anticipés ou, inversement, plus concentrés dans le temps à la fin du fonctionnement. Conformément à la décision de la ministre de la transition écologique et de Président de l'ASN, 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 (PNGMDR) (143), c'est le PNGMDR qui « *précisera les conditions de mise en œuvre de la réversibilité du stockage* […], *les jalons décisionnels du projet Cigéo ainsi que la gouvernance à mettre en œuvre afin de pouvoir réinterroger les choix effectués* ».

La proposition de schéma de fermeture graduel, retenu par l'Andra à ce stade a été définie sur la base des études d'avant-projet menées à ce stade. Elle constitue, sur la base des études menées en avant-projet, un optimum du point de vue industriel. Des scénarios de fermeture différents pourront être menés si des éléments nouveaux sont identifiés, en particulier lors des études, pendant les essais, puis pendant toute la durée de vie de l'installation. Cette proposition sera approfondie tout au long de la vie du centre de stockage et bénéficiera du retour d'expérience du fonctionnement et de la surveillance du centre de stockage, ainsi que de l'exploitation des démonstrateurs de fermeture (cf. Chapitre 4.2.2 du présent volume).

Les décisions de fermeture seront soumises à la gouvernance du projet à échéances périodiques dans le cadre des revues de périodiques de réversibilité prévues par le code de l'environnement (article. L 542-10-1). L'engagement des étapes de fermeture fera l'objet de procédures d'autorisation adaptée.

Quel que soit le scénario de fermeture qui apparaît le plus approprié à ce jour, le centre de stockage Cigéo est conçu pour que les opérations d'obturation puissent être décidées et engagées sur toute la période de fonctionnement du centre de stockage Cigéo. La proposition de scénario de référence est donc flexible. Elle sera nécessairement adaptée par les générations à venir pour répondre aux contraintes et aux enjeux qui apparaîtront naturellement dans le temps.

Les décisions d'engager des opérations d'obturation d'ouvrages souterrains seront intégrées au processus de gouvernance et intégrées aux revues périodiques de réversibilité et aux mises à jour du plan directeur de l'exploitation (PDE).

Dans le cas où le choix serait fait d'une obturation au plus tôt, de premiers alvéoles de stockage pourraient être fermés à l'horizon 2080. Inversement, s'il est décidé de reporter au maximum les décisions de fermeture, il est possible d'obturer l'ensemble des ouvrages souterrains et de procéder à la fermeture définitive du centre de stockage dans la foulée, à l'horizon 2150.

LES CRITERES ANALYSES PAR L'ANDRA POUR DEFINIR LE SCENARIO DE FERMETURE DE REFERENCE

La démarche appliquée par l'Andra pour définir les étapes de fermeture du déroulement de référence a consisté en l'étude de différents scénarios d'obturation des alvéoles et de fermeture du quartier pilote HA, du quartier de stockage MA-VL et du quartier de stockage HA (« au fil de l'eau », au plus tôt après le remplissage ou par tranches de 10 ans) ;

Pour chaque scénario, des avantages et des inconvénients ont été identifiés par rapport à une liste de critères (cf. Liste ci-après). À l'issue de cette analyse, un remontage global a été réalisé pour l'ensemble du stockage.

La sûreté en exploitation : la sûreté en exploitation appelle principalement à la limitation des risques de coactivité entre les opérations nucléaires de mise en stockage et les opérations d'obturation d'alvéoles et de fermeture de quartier. En effet, celles-ci mettent en œuvre des travaux relativement lourds qui nécessitent l'usage d'engins et de procédés spécifiques susceptibles de générer des risques. Or, il est, par principe et compte tenu de l'architecture, difficile de séparer physiquement les zones où seraient poursuivies les activités d'obturation de celles où sont réalisées les opérations de mise en stockage. En particulier, les liaisons surface-fond sont en nombre limitées et regroupées afin de minimiser les configurations qui seraient de nature à favoriser la circulation d'eau au sein du stockage. La volonté de limiter les risques et nuisances potentiels des chantiers d'obturation d'alvéoles sur les parties en exploitation sont une des principales raisons du choix d'un déroulement de référence privilégiant l'obturation des alvéoles à la fin du remplissage des quartiers.

L'obturation des alvéoles MA-VL implique l'arrêt de leur ventilation et l'arrêt de l'évacuation des gaz de la partie utile des alvéoles. L'arrêt de la ventilation en 2100 et la programmation de l'obturation du quartier de stockage MA-VL en une seule opération en 2100 contribue à limiter les risques liés à la présence éventuelle d'H2 de radiolyse dans les alvéoles MA-VL. En effet, la production d'hydrogène de radiolyse diminue en fonction du temps (épuisement de la matière organique et baisse de l'activité des radionucléides à vie courte) et le remblayage du quartier limite le renouvellement de l'oxygène dans les alvéoles. Par ailleurs, il favorise l'utilisation éventuelle de gaz inerte lors de l'obturation dans un seul chantier spécifique.

Après l'obturation des alvéoles, la présence des ouvrages (murs, remblais, éventuels massifs d'appuis et scellements) pourra probablement être valorisée en termes de sûreté opérationnelle (réduction du débit de dose, limitation des risques de propagation d'incendie, limitation des risques de dispersion…), toutefois, ils ne portent pas à proprement parler, à ce stade de leur définition technique, de fonction de confinement. Leur conception est principalement orientée vers le long terme, après-fermeture définitive. De plus, leur présence limite les possibilités de surveillance de la partie utile de l'alvéole et du premier mur à l'entrée de celle-ci. En tout état de cause, il ressort de l'analyse de l'Andra que le confinement en phase de fonctionnement peut être assuré par des dispositions actives ou passives (succession de barrières physiques), mais il n'apparaît pas qu'une de ces solutions présenterait un avantage significatif en matière de sûreté. De même l'impact des rejets

radioactifs gazeux sur le public étant négligeable, il n'apparaît pas à ce stade que sa réduction par l'obturation des ouvrages MA-VL puisse constituer un critère majeur de décision.

La surveillance et l'acquisition de connaissances : sans préjuger des dispositifs de surveillance qui seront utilisés dans le centre de stockage Cigéo, il peut être considéré que, tant que les alvéoles n'ont pas fait l'objet d'opérations d'obturation, ils sont dans l'état permettant au mieux leur surveillance par introduction de dispositifs d'auscultation. La mise en place des dispositifs d'obturation limitera forcément la possibilité de surveillance. Dans le cadre de sa démarche d'acquisition de connaissance, l'Andra a privilégié des scénarios facilitant le maintien de la surveillance pendant une durée longue (plusieurs dizaines d'années au minimum) dans l'objectif de garantir le contrôle des évolutions de l'installation avant l'engagement de travaux de fermeture définitive.

Le choix des étapes d'obturation permet de construire de premiers scellements à l'horizon 2100 pour la fermeture du quartier de stockage HA. Cette échéance permet d'envisager un retour d'expérience suffisant du comportement des démonstrateurs d'ouvrages d'obturation inactifs mis en place dès la phase industrielle pilote (scellement de galerie, obturation d'un alvéole HA, scellement de descenderie). L'évolution de ces ouvrages étant nécessairement lente, l'acquisition des données sur leur comportement nécessite un programme de mesures couvrant *a priori* plusieurs dizaines d'années.

Le service industriel : le centre de stockage Cigéo est conçu pour que les opérations d'obturation puissent être engagées sur toute la période de fonctionnement. Toutefois, les scénarios qui privilégient l'obturation d'alvéoles au plus tôt consomment en quasi-totalité la flexibilité du fonctionnement (augmentation des rythmes de fonctionnement en 3 × 8 ou 5 × 8, actions menées la nuit et les week-end, reports temporaires d'opérations de mise en stockage et reprises à des rythmes plus élevés plus tard). La proposition de schéma de fermeture graduelle permet de préserver au mieux la flexibilité. Par ailleurs, pour l'obturation du quartier pilote HA, la période 2080-2145 doit être évitée, car elle perturberait les opérations de stockage dans le quartier de stockage HA.

La récupérabilité : la récupérabilité est fondée sur une conception robuste des composants du stockage (colis de stockage et alvéoles) visant à préserver des conditions opérationnelles favorables au retrait, notamment les jeux de manutention. Dans les alvéoles en attente d'obturation, les conditions de retrait sont préservées. Une fois les alvéoles obturés et les quartiers fermés, les opérations de réouverture, puis de remise en fonctionnement de galeries et des alvéoles fermés nécessiteraient des efforts et des investissements significatifs qui constitueraient des freins à la décision. La proposition de schéma de fermeture permet de maintenir le niveau de récupérabilité des colis à un niveau élevé et donc de faciliter les choix pendant plusieurs dizaines d'années (environ 40 ans pour le quartier pilote HA et les colis HA0 qui y seront utilisés, 70 ans pour les colis MA-VL, 70 ans pour les colis HA).

L'optimisation technico-économique : le fait de mener un seul chantier d'obturation pour les alvéoles et les galeries d'un quartier permet d'optimiser sa réalisation par rapport à son fractionnement en plusieurs étapes (phases successives de mise en chantier et de repli de chantier pour reprise de fonctionnement). Les engins utilisés pourront ainsi être utilisés sur un seul chantier plutôt que d'avoir à réapprovisionner ou maintenir des équipements pour des chantiers séparés. Par ailleurs, les phases de mise en chantier et de replis sont potentiellement génératrices de risques spécifiques.

4.3.4 Le concept d'adaptabilité de la conception

L'adaptabilité des installations du centre de stockage Cigéo est définie comme la capacité à leur apporter des modifications pour les adapter à de nouvelles hypothèses de dimensionnement. Elle peut aller jusqu'à des modifications notables des équipements existants ou des constructions d'ouvrages nouveaux.

La principale hypothèse de dimensionnement du centre de stockage Cigéo susceptible d'être revue avec le temps concerne son inventaire, c'est-à-dire le nombre et le type des familles de colis de déchets pour lesquels il est conçu actuellement, dénommé « inventaire de référence » (cf. Chapitres 1.3.4.1 et 1.3.4.2 du présent volume). En effet, tout au long du fonctionnement du centre de stockage Cigéo, des décisions prises dans le cadre des politiques nationales de gestion des déchets pourraient orienter vers le centre de stockage Cigéo certains déchets non initialement prévus dans l'inventaire de référence. En fonction des volumes et des types de déchets concernés, de telles décisions présenteraient des enjeux techniques différents pour le centre de stockage Cigéo, allant de simples ajustements de sa conception et de son exploitation[166], jusqu'à des modifications notables de son architecture, par exemple pour la prise en charge de combustibles usés.

À titre de précaution, depuis les premières étapes du projet dans les années 2000, l'Andra étudie la faisabilité du stockage d'une partie des déchets FA-VL et de combustibles usés dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien. De telles études de faisabilité ont été périodiquement instruites par l'ASN depuis 2005.

Dans le cadre de la préparation du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) du centre de stockage Cigéo, l'Andra approfondit actuellement ses études de conception et ses évaluations de sûreté menées sur un inventaire plus large que l'inventaire de référence du projet. Cet inventaire est dénommé « inventaire de réserve » (cf. Chapitres 1.3.4.1 et 1.3.4.3 du présent volume). Les études relatives à l'éventuel stockage des déchets de cet inventaire de réserve sont dénommées « études d'adaptabilité ». Elles seront présentées dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo, sans pour autant que leur stockage dans le centre de stockage Cigéo ne soit considéré comme leur mode de gestion à privilégier. Au travers des études d'adaptabilité, l'Andra vérifie que la conception du centre de stockage Cigéo ne présente pas d'élément rédhibitoire à leur éventuelle prise en charge le cas échéant.

S'agissant des combustibles usés, l'Andra a conçu le centre de stockage Cigéo pour qu'il puisse être compatible avec leur éventuel stockage sous réserves de certaines adaptations. Celles-ci concerneraient principalement le processus de transfert dans l'installation souterraine pour la prise en charge des colis de combustibles. Toutefois, aucune opération de stockage de combustibles n'est, en tout état de cause, envisagée avant l'horizon 2100 afin de bénéficier d'une décroissance notable de leur dégagement thermique. Une des principales différences techniques entre le centre de stockage Cigéo sans ou avec combustibles usés est la substitution de quartiers de stockage HA par des quartiers de stockage de combustibles usés. En effet, si ceux-ci venaient à être stockés, les colis HA qui auraient été générés par leur traitement ne seraient pas produits.

La mise en œuvre des évolutions de conception nécessaires à l'adaptabilité, devra faire l'objet le moment venu de procédures d'autorisation adéquates selon le cadre réglementaire en vigueur. En particulier l'accueil de combustibles usés nécessitera une modification notable du décret de création de l'INB. Il induirait nécessairement une modification du déroulement de la phase de fonctionnement du centre de stockage décrit au chapitre 4.1.3 du présent document.

Les décisions de modifications effectives de l'inventaire des déchets à stocker dans le centre de stockage Cigéo seront intégrées au processus de gouvernance et intégrées aux revues périodiques de réversibilité et aux mises à jour du plan directeur de l'exploitation (PDE) (31).

4.3.5 Le concept de récupérabilité des déchets

La récupérabilité est la capacité à retirer des colis de déchets d'une installation de stockage en couche géologique profonde. Cette définition a été proposée par l'Andra suite au débat public sur le projet global Cigéo de 2013 (32).

La récupérabilité est un des outils qui offre des choix aux générations futures dans le cadre de la réversibilité. L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement précise que 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.* »

La récupérabilité ne constitue pas un objectif en soi. En effet, le fait de retirer du stockage un ou des colis de déchets, qui y avaient initialement été acceptés sans l'intention de les en retirer ultérieurement, implique une réorientation de la décision initiale. La mise en œuvre de la récupérabilité doit donc avoir un but, une finalité qui procure un avantage par rapport à la décision initiale de stocker, y compris en termes de sûreté, en fonctionnement ou après-fermeture. Elle ne peut donc être exercée qu'associée à d'autres décisions dans le cadre de la gouvernance globale du stockage.

Du point de vue opérationnel, il faut noter que la récupérabilité, associée à la flexibilité de l'exploitation, offre de la souplesse pour la gestion du centre de stockage. Son exploitant pourrait ainsi retirer, de façon ponctuelle, un

[166] Les déchets considérés comme des déchets de faible activité à vie longue, actuellement destinés à un stockage à faible profondeur, pourraient être pris en charge par le centre de stockage Cigéo sans modification importante des conditions d'exploitation.

ou plusieurs colis de leurs alvéoles, sans perturber significativement les flux de mise en stockage. Ces opérations pourraient éventuellement être utiles pour des vérifications, des essais ou des réagencements d'alvéoles. Les colis de déchets seraient ensuite réintroduits en alvéole pour stockage. Dans le cadre de la demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo, l'Andra prévoit ainsi de demander l'autorisation de mener de telles opérations de retrait ponctuelles, qui ne sont pas associées à une remise en cause de la volonté initiale de stocker les colis de déchets.

En matière de gestion globale des déchets, la récupérabilité, associée à l'amélioration continue des connaissances, notamment par la poursuite des programmes de recherches et de développement (R&D) sur les déchets radioactifs, permettrait aux générations futures de retirer tout ou partie des colis de déchets stockés dans le centre de stockage Cigéo, par exemple pour les orienter vers une autre filière de gestion. Il faut toutefois souligner que ces déchets sont des déchets ultimes et qu'il n'y a pas à l'heure actuelle d'utilisation prévue ou envisagée pour ces substances. Une telle décision de développement d'une nouvelle filière de gestion des déchets HA ou MA-VL et de réorientation de déchets stockés vers cette filière devra donc procurer des avantages en termes globaux. Elle serait donc nécessairement de portée nationale. Sa mise en œuvre demanderait un volet d'autorisations spécifiques.

Si une décision était prise de retirer du centre de stockage Cigéo des colis stockés, les colis retirés du centre de stockage Cigéo seraient réexpédiés hors du centre vers la filière de gestion alternative choisie. Il n'y a pas d'entreposage pérenne de gestion des déchets prévu parmi les installations de surface du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 2.5.3.7 du présent volume).

Les principales options techniques permettant d'assurer le retrait des colis de déchets stockés avant l'obturation des galeries sont intégrées dès la conception. Ces dispositions visent à rendre possible les opérations de retrait sans préjudice pour la sûreté et l'environnement. Elles recouvrent des dispositions de conception robustes des composants du stockage et de ses équipements, des essais pour vérifier leur bon fonctionnement et des dispositions prudentes de fonctionnement et de surveillance. Leur performance est justifiable sur la période séculaire prévue pour le fonctionnement du stockage. Ces options de récupérabilité ont été formalisées dans un dossier spécifiques en 2016 et ont fait l'objet d'une instruction par l'ASN en parallèle du dossier d'options de sûreté dit DOS (avis n° 2016-AV-0267 de l'ASN du 31 mai 2016 (228)).

LES DISPOSITIONS TECHNIQUES LIES A LA RÉCUPÉRABILITÉ

Les principales dispositions techniques prises pour permettre le retrait des colis stockés dans le centre de stockage Cigéo sont les suivantes :

- les composants jouant un rôle important pour le retrait (colis, équipements de manutention, alvéoles) sont conçus de façon robuste et durable. Par exemple, les alvéoles dans lesquels seront stockés les colis de déchets sont revêtus d'une structure, en béton ou en acier, pour limiter leurs déformations. Sur la durée du fonctionnement du centre de stockage, les jeux fonctionnels et les conditions de fonctionnement des équipements utilisés pour le retrait des colis de déchets sont préservés ;
- les moyens de manutention utilisés pour stocker les colis de déchets MA-VL dans les alvéoles peuvent également les en retirer. Pour les colis HA, des robots spécifiques permettant de les retirer des alvéoles HA sont développés et opérationnels dès les premières opérations de stockage des colis HA0. Des tests à l'échelle 1 ont d'ores et déjà été réalisés avec des prototypes pour les deux types de colis. En fonction de la date de l'éventuelle opération de retrait, les moyens de manutention utilisés pourront être renouvelés (équipements éventuellement obsolètes) ou adaptés aux conditions opérationnelles ;
- la position précise de chaque colis stocké et son contenu seront enregistrés afin de disposer de toutes les informations permettant de préparer un éventuel retrait ;
- les alvéoles de stockage seront surveillés pour suivre l'évolution des conditions de retrait (jeux fonctionnels, conditions de fonctionnement des équipements de retrait, colis…) ;
- des essais de retrait de colis seront réalisés avant la mise en service des alvéoles pour vérifier la performance des équipements de retrait ;
- les conditions de retrait feront l'objet de réévaluations périodiques (réexamens de sûreté, revues de réversibilité, mise à jour du plan directeur pour l'exploitation) ;
- des emprises seront laissées libres à proximité des installations nucléaires de surface pour permettre la construction d'éventuels ouvrages qui pourraient être nécessaires aux opérations de retrait quelle que soit l'échéance à laquelle elles seraient décidées (entreposage « tampon » complémentaire, préparation des expéditions, soutien aux activités de réouverture…).

La faisabilité des opérations de retrait fait l'objet de développements techniques de l'Andra intégrés à la conception du centre de stockage Cigéo. À titre d'exemple, la figure 4-5 montre le banc d'essais de récupérabilité de conteneurs HA. Les essais menés ont permis de valider la possibilité du retrait d'un colis de stockage HA, y compris dans des conditions plus difficiles que celles attendues en conditions opérationnelles réelles (déformation importante, présence de produits de corrosion, hygrométrie élevée…).



Figure 4-5 Banc d'essai de récupérabilité de colis de stockage HA (Source : Andra)

La récupérabilité est associée à des dispositions techniques dont la performance est justifiable techniquement sur la durée d'ordre séculaire prévue pour le fonctionnement du centre de stockage (fermeture définitive prévue à l'horizon 2150). Compte tenu des conditions d'environnement induites par la roche du Callovo-Oxfordien, l'évolution du stockage exclut l'apparition de désordres rapides ou d'altérations soudaines des ouvrages souterrains construits dans cette roche. Quelques années après leur creusement et leur construction, le comportement des ouvrages devient asymptotique (comportement confirmé au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne). Leur déformation progressive, liée à leur mise en charge, est très limitée. Elle sera surveillée sur toute la durée d'ordre séculaire du fonctionnement du centre de stockage. Ce comportement très durable des ouvrages est prévu sur toute cette durée et même au-delà. L'atteinte effective de ce régime durable pourra être vérifiée au cours de la phase industrielle pilote (Phipil). Le comportement durable des ouvrages sur toute la durée du fonctionnement de Cigéo, qui est une des conditions principales pour la sûreté de leur exploitation et pour les opérations de retrait, pourra donc être confirmé en conditions réelles dans les premières années après leur construction conformément aux exigences du code de l'environnement.

Le centre de stockage Cigéo est conçu pour que, sur toute la période allant de sa mise en service jusqu'à la décision de sa fermeture définitive, les colis puissent en être retirés.

Si au cours de la phase de fonctionnement du centre de stockage, une décision était prise d'en retirer tout ou partie des colis de déchets déjà stockés et de les diriger vers une autre filière de gestion, jugée avantageuse, y compris au plan de la sûreté à long terme, alors elle induirait nécessairement une modification du déroulement de la phase de fonctionnement du centre de stockage décrit au chapitre 4.1.3 du présent volume.

La conception du centre de stockage Cigéo prévoit que les colis peuvent être retirés pendant toute la durée du fonctionnement, de façon similaire à leur mise en stockage. Le procédé s'effectue en sens inverse depuis l'alvéole jusqu'à la surface. Les incidences des opérations de retrait et de réexpédition sont donc équivalentes à celles des opérations de réception et de mise en stockage. Elles sont couvertes par l'évaluation des impacts de la phase de fonctionnement (cf. Volume 4 de la présente étude d'impact).

Les temps unitaires des opérations de mise en stockage des colis et des opérations de retrait des colis stockés sont donc très proches. La durée totale nécessaire au retrait d'un colis est du même ordre que la durée de sa mise en stockage. De façon plus globale, la durée des opérations de retrait d'un groupe de colis peut être significativement réduite par rapport à la durée prévisionnelle actuelle de leur mise en stockage grâce à la flexibilité de l'exploitation (cf. Chapitre 4.3.3 du présent volume). En augmentant les cadences d'exploitation, des colis mis en stockage sur 10 ans pourraient en moyenne en être retirés en moins de 7 ans. Des optimisations supplémentaires des rythmes de retrait sont envisageables en fonction des capacités d'expédition des colis hors du centre. S'agissant des colis stockés en phase industrielle pilote, dans l'hypothèse où le Parlement mettrait fin au stockage géologique sur le centre de stockage Cigéo après 6 années de fonctionnement, les colis stockés pourraient en être retirés en environ 2 ans.

Si des filières de gestion des déchets HA et MA-VL alternatives au stockage venaient un jour à être mises en œuvre, la durée de leur développement et leur rythme de prise en charge des colis déstockés seraient nécessairement longs. Les opérations de retrait des colis du centre de stockage Cigéo pourraient être progressivement programmées et optimisées. La durée du retrait ne constituerait pas un frein à la mise en œuvre de filières alternatives au stockage.

Les décisions de retrait de colis stockés sur le centre de stockage Cigéo pour réorientation vers une autre voie de gestion seront intégrées au processus de gouvernance et intégrées aux revues périodiques de réversibilité et aux mises à jour du plan directeur de l'exploitation (PDE).

Synthèse - Le phasage du projet global Cigéo et la réversibilité du stockage

Le déploiement du centre de stockage Cigéo est envisagé selon plusieurs phases temporelles successives :

- la phase d'aménagements préalables incluant :
  - ✓ le défrichement de la zone puits ;
  - ✓ les investigations d'archéologie préventive ;
  - ✓ les travaux d'aménagements pour préparer la construction de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo (sécurisation, viabilisation, organisation des zones de surface, terrassements, paroi étanche en sous-sol de la zone descenderie, préparation d'une première zone de gestion des déblais du Callovo-Oxfordien excavé) ;
- la phase de construction initiale, qui vise la construction des ouvrages permettant la mise en service de l'INB (installations de surface et ouvrages souterrains). Après une phase industrielle pilote (voir ci-après), cette phase intermédiaire se poursuit jusqu'au stockage des premiers colis de déchets ;
- la phase de fonctionnement, qui se déroule sur une centaine d'années pendant lesquelles ont lieu des opérations de réception et de mise en stockage de colis, et des travaux d'extension progressive de l'installation souterraine, par tranches successives, afin de poursuivre la réception des colis. Le cas échéant, de premières opérations d'obturation d'alvéoles ou de fermeture de quartier de stockage pourront être engagées, sous réserve des décisions prises par les instances de gouvernance du centre de stockage ;
- la phase de démantèlement et de fermeture, qui commence à la délivrance du décret de démantèlement de l'INB Cigéo (démontage d'équipements, assainissement des locaux et des sols, destruction de structures de génie civil, obturation des ouvrages souterrains du centre de stockage). La fermeture définitive du centre de stockage peut être engagée, si celle-ci est décidée par le Parlement ;
- la phase de surveillance, qui débute avec la décision d'autorisation de fermeture et de passage en phase de surveillance. Elle pourra couvrir plusieurs siècles, à l'instar de ce qui est prévu pour les centres de stockage de surface. Elle est associée à une période de contrôle institutionnel ;
- la phase de post-surveillance, qui débute avec la décision de déclassement de l'INB Cigéo et qui n'a pas de fin. Elle correspond à l'horizon de la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs visée par le code de l'environnement.

Une phase complémentaire, dénommée « phase industrielle pilote », est prévue par le code de l'environnement pour le centre de stockage Cigéo (article L. 542-10-1). L'Andra propose que la phase industrielle pilote commence après la délivrance du décret de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo et se poursuive pendant quelques années après la mise en service du centre de stockage Cigéo.

Ainsi proposée, la phase industrielle pilote couvre la phase de construction initiale et de premières années de la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Cette proposition fera l'objet de concertations et pourra naturellement être modifiée sur la base des échanges avec les parties prenantes et le public.

La phase industrielle pilote prendra fin dans des conditions qui seront décidées par le Parlement. En effet, le vote d'une future loi pour décider des conditions de la poursuite du projet est déjà prévu par le code de l'environnement (article L. 542-10-1).

Du point de vue des impacts environnementaux, la phase industrielle pilote n'entraîne pas d'impact spécifique ou supplémentaire par rapport à ceux de la phase de construction initiale et de la phase de fonctionnement.

Compte tenu de la durée d'ordre séculaire prévue pour le fonctionnement du centre de stockage, environ cinq générations successives devraient l'exploiter, notre génération a donc le devoir de ne pas enfermer les générations futures dans des choix de conception faits au lancement du projet. C'est dans ce sens que l'Andra développe un projet de stockage réversible.

La réversibilité du centre de stockage est fondée sur la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation du stockage permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage.

La mise en œuvre de la réversibilité pourra modifier le phasage et le déroulement des opérations prévues actuellement.

5

Les principaux travaux et leurs modalités d'exécution

5.1 Les travaux en phase d'aménagements préalables 266
5.2 Les travaux en phase de construction initiale 270
5.3 Les travaux en phase de fonctionnement 273
5.4 Les travaux en phase démantèlement et fermeture 274

5.1 Les travaux en phase d'aménagements préalables

5.1.1 Les travaux relatifs au centre de stockage Cigéo

5.1.1.1 L'ensemble des travaux réalisés

Les travaux menés sur le périmètre du centre de stockage Cigéo pendant la phase d'aménagements préalables seront réalisés sur une période d'une durée de 5 à 7 ans.

Ces travaux ont pour objectif de préparer les terrains d'implantation du centre de stockage en amont du démarrage des travaux de construction des bâtiments et ouvrages.

Les principaux travaux communs pour la zone descenderie et pour la zone puits consistent :

- à sécuriser les sites (mise en place de clôtures de sécurisation périphérique, des portails d'accès et des postes de garde) ;
- à viabiliser et organiser les sites pour pouvoir ensuite y installer les premières entreprises de construction, avec notamment :
  - ✓ la pose des réseaux internes (eau, électricité, télécoms) nécessaires aux installations de chantier et leur raccordement aux réseaux extérieurs (des groupes électrogènes pourront être utilisés ponctuellement avant les raccordements électriques lorsque nécessaire) ;
  - ✓ la réalisation des pistes provisoires de chantier, notamment d'accès aux bassins de gestion des eaux pluviales, des voiries lourdes structurantes permettant la circulation des poids lourds (pour les accès aux installations temporaires de chantier), des chemins de ronde nécessaires à des circulations chantier ;
- à mettre en place les ouvrages de gestion des eaux, à savoir :
  - ✓ les bassins et ouvrages d'assainissement eaux pluviales durant les premières années des travaux avant la mise en fonctionnement des installations définitives (déploiement effectif dès qu'une plateforme est livrée par les terrassements) ;
  - ✓ les ouvrages d'assainissement eaux usées des installations de chantier, dans l'attente de la mise en service des ouvrages définitifs prévus pour le fonctionnement du centre de stockage Cigéo ;
- à terrasser les plateformes d'accueil des utilités (eau, électricité, télécom), puis progressivement l'ensemble des zones de surface (zone descenderie, zone puits, liaison intersites, installation terminale embranchée), étant prévus :
  - ✓ des terrassements des franges superficielles ;
  - ✓ des terrassement pleine masse des calcaires fracturés aux calcaires sains ;
- à construire certains ouvrages et installations supports de surface avec pour exemple :
  - ✓ sur les plateformes d'accueil des utilités, la déchetterie industrielle conventionnelle et les postes de transformation et de distribution 90/20 kV ;
  - ✓ sur la zone descenderie, le terminal ferroviaire de manière à permettre ensuite l'acheminer des matériaux, du matériel et des équipements divers par le rail ;
  - ✓ les parkings nécessaires aux premières périodes de la phase de construction initiale (structure identique aux voies lourdes).

Au cours de cette phase, des campagnes d'investigations géotechniques sont menées.

En complément de ces travaux communs, les travaux menés spécifiquement sur la zone descenderie pendant la phase d'aménagements préalables comprennent également la réalisation de fouilles archéologiques.

En complément des travaux communs, les travaux menés spécifiquement sur la zone puits pendant la phase d'aménagements préalables comprennent également :

- la réalisation des diagnostics archéologiques et les éventuelles fouilles préventives en cas de découverte de vestiges d'intérêt (cf. Chapitre 5.1.1.3 du présent volume) ;
- les premières opérations de défrichement du bois Lejuc (cf. Chapitre 5.1.1.2 du présent volume) qui correspondent à la surface d'implantation des installations de surface de la zone puits et à la première zone de gestion des déblais du Callovo-Oxfordien excavé (cf. Tableau 3-10) incluant :
  - ✓ le dessouchage puis le broyage des souches (stockage provisoire des broyats pour réutilisation ultérieure) ;
  - ✓ le défrichement de l'emprise boisée (abattage, ébranchage et débardage) ;
- la préparation de la première plateforme de gestion des déblais de Callovo-Oxfordien excavé (cf. Chapitres 3.2.4.2.2 du présent volume), cette première plateforme permettant de gérer les déblais issus du creusement de la phase de construction initiale (elle sera étendue ultérieurement en lien avec l'extension progressive de l'installation souterraine).

En termes de modalités de travaux :

- pour la zone descenderie et la zone puits, deux modes de terrassements principaux sont envisagés, après décapage au scraper, à la pelle et par chargeuse ou trax de la terre végétale :
  - ✓ les franges superficielles (argiles et cailloutis calcaires) et les calcaires très fracturés, fracturés et sains sont extraits de manière traditionnelle, en pleine masse, à l'aide de pelles et camions dumper, chargés directement ou *via* une chargeuse sur pneus, ainsi que d'un bull (pour les talus) ;
  - ✓ les couches dures (calcaires) sont extraites à l'aide de pelles de forte puissance, en joignant un atelier complémentaire de ripage (fragmentation des gros blocs puis concassage) ou de minage (tirs de front de taille et tirs de pré-découpage nécessitant l'utilisation d'explosifs) ;
- pour la zone descenderie :
  - ✓ une centrale de production des enrobés nécessaires pour imperméabiliser les voiries est installée dès les aménagements préalables ; elle est ensuite conservée jusqu'à la fin de la construction initiale.

Le criblage et concassage sont nécessaires avant mise en remblais des matériaux, afin de réduire les franges les plus grossières des matériaux extraits. Pour ce faire, dès le début des terrassements, des concasseurs mobiles sont installés (en zone descenderie et en zone puits) ; ils sont associés à des pelles et chargeuses à pneus, nécessaires à son fonctionnement).

Sur les emprises de travaux, des zones de stockage de matériaux sont prévus pendant la phase d'aménagements préalables ; les matériaux y sont transportés par dumpers après chargement à l'aide de pelles.

Les travaux menés lors de la phase d'aménagements préalables sur le centre de stockage Cigéo comprennent également la construction de la liaison intersites (cf. Chapitre 3.2.6 du présent volume) et l'installation terminale embranchée (cf. Chapitre 3.2.7 du présent volume). Ils sont toutefois de moindre ampleur que ceux menés sur la zone descenderie et la zone puits.

Certains des travaux, commencés pendant la phase d'aménagements préalables, pourront le cas échéant se terminer durant la phase de construction initiale, en particulier des travaux de terrassement des plateformes.

Pour mener à bien ces opérations, des installations temporaires de chantier (ITC) propres aux ménagements préalables sont mises en place.

5.1.1.2 Les précisions sur les travaux de défrichement de la zone puits

Les premières opérations de défrichement sont effectuées au sein du bois Lejuc. Elles concernent l'aire d'implantation des installations de surface de la zone puits et l'aire destinée à la gestion des déblais du Callovo-Oxfordiens excavés lors des premiers creusements (Z1 des verses, cf. Chapitres 2.5.1.2 et 2.5.3.5 du présent volume) qui constituent une surface remaniée totale d'environ 136 ha.

Les travaux de défrichement de la zone puits sont nécessaires pour y engager les opérations d'archéologie préventive.

Le défrichement est effectué en plusieurs temps :

- un abattage des arbres sans dessouchage préalable aux diagnostics d'archéologie préventive ;
- un dessouchage partiel réalisé par les archéologues pendant le diagnostic d'archéologie préventive ;
- un dessouchage réalisé par des entreprises sur les emprises libérées par les archéologues après les diagnostics ;
- un dessouchage réalisé par les archéologues sur les emprises faisant l'objet de prescriptions de fouilles.

L'abattage des arbres se fait en période hivernale pour respecter les enjeux écologiques (cf. Volume IV de la présente Étude d'impact).

Les travaux de défrichement font l'objet de mesures de compensation forestière (cf. Volume 4 de la présente Étude d'impact).

5.1.1.3 Les précisions sur les travaux d'archéologie préventive

Un premier diagnostic d'archéologie préventive a été réalisé en 2015-2016 par l'INRAP sur les surfaces retenues pour l'implantation de la zone descenderie et de l'ITE du centre de stockage Cigéo. Il a mis en évidence des vestiges pouvant présenter un intérêt archéologique. Des opérations de fouilles ont été prescrites à l'Andra par le préfet. L'Andra procédera à des fouilles archéologiques sur une surface minimum d'environ 70 ha.

Sur la zone puits, pour des raisons techniques liées aux investigations archéologiques en milieu boisé et la sécurité des archéologues, le diagnostic ne peut pas se dérouler sans l'abattage de certains arbres. Sur la zone d'implantation de la liaison intersites (LIS), les diagnostics archéologiques n'ont pas encore été réalisés, son tracé définitif ayant été arrêté à l'issue de la concertation (cf. Chapitre 2.4.1.3.5 du présent volume).

Les opérations d'archéologie préventive (diagnostics et fouilles qui restent à effectuer préalablement à l'aménagement des zones de surface du centre de stockage Cigéo) seront planifiées et organisées par le ou les opérateurs agréés en accord avec l'Andra. Leur durée dépend des éventuels vestiges découverts. Ces opérations seront engagées dès que l'Andra aura obtenu les autorisations nécessaires. Elles permettront d'aménager le centre de stockage Cigéo sans craindre la destruction involontaire de vestiges dignes d'intérêt scientifique et patrimonial.

5.1.2 Les travaux hors du centre de stockage Cigéo

Des travaux du projet global Cigéo sont menés pendant la phase d'aménagements préalables, en dehors des emprises du centre de stockage Cigéo ; il s'agit des travaux relatifs à :

- l'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 3.3.1 du présent volume) :
  - ✓ travaux relatifs à la ligne 400 kV ;
  - ✓ raccordement du poste 400 kV, créé pour le centre de stockage Cigéo, à la ligne 400 kV ;
  - ✓ construction du poste 400 kV, créé pour le centre de stockage, et de ses liaisons électriques enterrées ;
- l'adduction d'eau potable (cf. Chapitre 3.3.2 du présent volume) :
  - ✓ travaux d'adduction du syndicat d'Echenay ;
  - ✓ travaux d'adduction du Syndicat du Haut-Ornain ;
- la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château (cf. Chapitre 3.3.3 du présent volume) ;
- la déviation de la route départementale D60/960 (cf. Chapitre 3.3.4 du présent volume).

Des travaux nécessaires aux opérations de caractérisation et de surveillance environnementale et de suivi des mesures environnementales et notamment la réalisation de forages, mesures environnementales sur le milieu naturel, inventaires écologiques etc. pourront également être réalisés (cf. Chapitre 3.3.6 du présent volume).

5.1.2.1 Les travaux relatifs à la ligne 400 kV

5.1.2.1.1 La création de pistes provisoires d'accès au pylône

L'utilisation des chemins existants pour accéder aux pylônes et au besoin l'utilisation du couloir de servitude de la ligne 400 kV est privilégié. Si des accès complémentaires doivent être aménagés, trois types de constructions de pistes provisoires peuvent être mis en œuvre en fonction du terrain :

- construction de piste après décapage de la terre végétale sur une quinzaine de centimètres d'épaisseur et sur trois mètres de large, puis mise en place d'un géotextile et ensuite de cailloux pour former une piste (cf. Figure 5-1) ;
- construction d'une piste du même type, mais au-dessus du terrain naturel sans décapage ;
- mise en place de plaques de roulement sur le terrain naturel pour éviter les phénomènes d'orniérage (cf. Figure 5-2).

À la fin des travaux, les pistes sont démontées (enlèvement des matériaux extérieurs et régalage de la terre végétale) et le terrain est remis en état.



Figure 5-1 *Illustration de piste provisoire d'accès au pylône avec décapage de la terre végétale et mise en place d'un géotextile recouvert de cailloux (source : RTE – juin 2020) (221)*



Figure 5-2 *Illustration de piste provisoire d'accès au pylône constitué de plaques de roulement (source : RTE, juin 2020) (221)*

5.1.2.1.2 La sécurisation des structures métalliques des pylônes

Les travaux de sécurisation de certains pylônes consistent à remplacer ou à ajouter des cornières et/ou des boulons dans la structure du pylône. C'est une intervention légère par une équipe limitée, ne nécessitant que l'utilisation de véhicules légers.

5.1.2.1.3 La sécurisation des fondations de certains pylônes

Les zones de travaux sont limitées aux abords immédiats de chacun des pylônes. Après acheminement du matériel aux pieds du pylône par des engins légers (petite pelleteuse à chenille, transporteurs à chenilles, véhicules 4X4), la sécurisation des fondations d'un pylône est constituée de trois étapes :

- forage : La machine de forage est positionnée à chaque pied du support du pylône et fore le massif de la fondation existante puis du sous-sol. Une tige métallique est introduite au fur et à mesure du forage puis du béton de liaison est injecté ;
- piquage du massif : Une fois consolidé et après avoir dégagé les pieds du support, le massif de la fondation existante (cheminées ou dalle) est piqué au marteau-piqueur ;
- réfection du massif : Un nouveau massif est reconstitué avec un coffrage des cheminées pour coulage du béton.

Ces travaux ne nécessitent pas la consignation électrique de la ligne électrique 400 kV.

[167] Les câbles de garde, qui ne transportent pas de courant, sont disposés au-dessus des câbles conducteurs qu'ils protègent contre la foudre. Ils participent aussi à la stabilisation des pylônes.

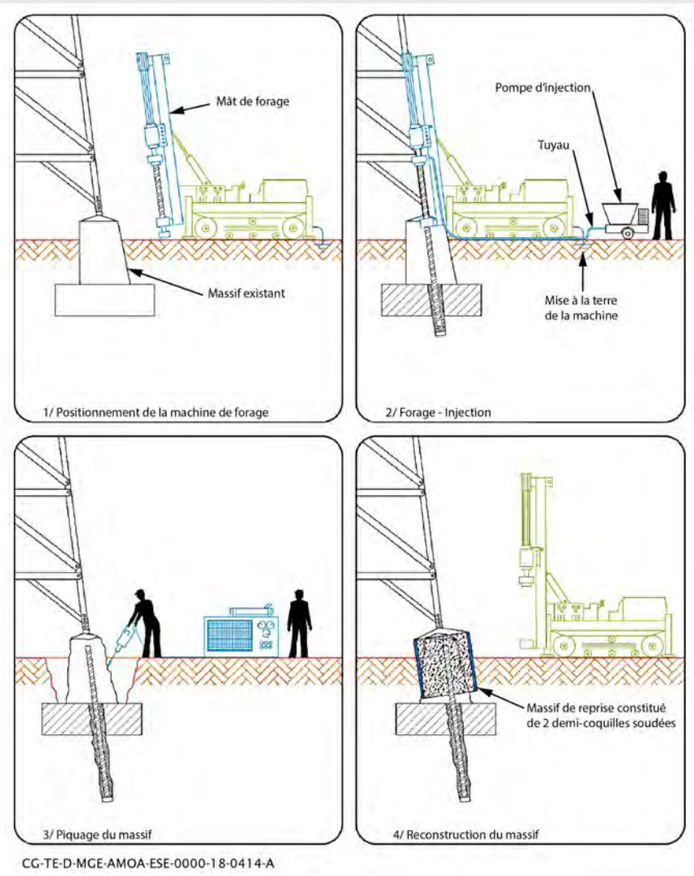


Figure 5-3 *Travaux de sécurisation des fondations (source RTE – juin 2020) (221)*

5.1.2.1.4 Le remplacement des pylônes

En cas de nécessité de remplacement d'un support, le nouveau pylône de mêmes caractéristiques (hauteur, forme) est généralement implanté en lieu et place ou bien à proximité immédiate de l'existant (décalage entre 5 mètres et 10 mètres). Après réalisation des fondations, le nouveau support est assemblé, monté puis élevé.

Une fois érigé, les câbles de la ligne sont transférés de l'ancien pylône au nouveau. L'ancien support est ensuite déposé et ses massifs arasés à -1 mètre.

5.1.2.1.5 Le remplacement du câble de garde actuel par un câble de garde avec fibre optique incorporée

Entre le pylône n° 79 de la ligne Houdreville-Méry et le poste d'Houdreville selon la technique dite du « déroulage sous tension mécanique », le remplacement du câble de garde[167] actuel par un câble de garde avec fibre optique incorporée s'effectue selon la technique dite du « Déroulage Sous Tension Mécanique » (DSTM), technique qui consiste à se servir du câble à remplacer pour tirer le nouveau câble, et ce sans toucher le sol (cf. Figure 5-4).

Cette opération se décompose en deux interventions :

- la première a pour objectif la mise en place d'une poulie (cf. Figure 5-5) permettant le déroulage du câble de garde et le montage d'un béquillon. Le nouveau câble, attaché à l'ancien, est tiré par un treuil d'un côté tout en étant maintenu au-dessus du sol grâce à une freineuse disposée de l'autre côté (cf. Figure 5-6) ;
- la seconde a pour objectif l'enlèvement de la poulie et remise en place du câble de garde.

Pour réaliser ces travaux, des plateformes sont créées aux abords des supports où sont installés les treuils ou les freineuses. Ces plateformes, d'environ 200 m², sont construites selon les trois techniques présentées pour les pistes d'accès provisoire dans le chapitre précédent. Elles ne sont pas imperméabilisées. Après les travaux, elles sont démontées et le terrain est remis en état.

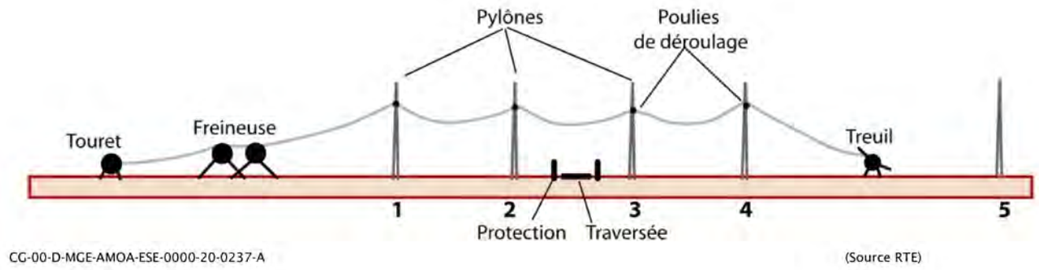


Figure 5-4 *Représentation schématique du remplacement du câble de garde actuel par un câble de garde avec fibre optique incorporée (source RTE – juin 2020) (221)*



Figure 5-5 *Illustration d'une poulie de déroulage (source RTE – juin 2020) (221)*



Figure 5-6 *Illustration d'une freineuse au niveau du couloir de servitude de la ligne 400 kV (source RTE – juin 2020) (221)*

5.1.2.1.6 La nature des travaux envisagés au niveau des sites Natura 2000 traversés par la ligne électrique 400 kV

Le réseau Natura 2000 est un ensemble de sites naturels européens identifiés pour la rareté ou la fragilité des espèces animales ou végétales et de leurs habitats.

RTE s'est attaché à définir la nature des travaux à entreprendre au niveau de chaque pylône situé sur ou à proximité immédiate de sites classés Natura 2000 (cf. Chapitre 2.6 du volume V de la présente étude d'impact).

Le tableau 5-1 présente les travaux envisagés par site traversé et par pylône.

Tableau 5-1 Travaux envisagés au niveau des sites Natura 2000 traversés par la ligne électrique 400 kV

Sites N2000 concernés	Numéro des pylônes	Travaux de création de pistes provisoires	Travaux de sécurisation des structures	Travaux de sécurisation des fondations	Remplacement à l'identique de support	Remplacement du câble de garde	Plateformes provisoires de déroulage du câble de garde
Étang de la Horre FR2110091 (ZPS) FR2100332 (ZSC) RNN	Pylônes 103 à 108	-	-	-	-	✓	-
Herbages et cultures des vallées de la Voire FR2112001 (ZPS)	Pylônes 114 à 116 situés entre 350 m et 500 m de la ligne	-	-	-	-	✓	-
Forêts de Gondrecourt FR4100182 (ZSC)	Pylône 232	✓	✓	✓	-	✓	-
	Pylône 233	✓	✓	-	-	✓	
	Pylônes 239 à 243	-	-	-	-	✓	
Vallée de la Meuse FR4112008 (ZPS)	Pylônes 257, 258 et 259	✓	✓	✓	-	✓	-

***RNN** : Réserve naturelle nationale ; **ZPS** : Zone de protection spéciale ; **ZSC** : Zones spéciale de conservation*

Afin d'éviter des incidences de l'opération sur ces sites à enjeux, RTE s'est imposé de ne pas créer de plateforme provisoire de déroulage de câble de garde.

Afin de réduire les incidences de l'opération sur ces sites à enjeux, RTE s'est imposé de ne pas procéder au remplacement des pylônes en place et à privilégier les chemins d'accès existants.

L'ensemble des éléments techniques complémentaires relatifs aux opérations réalisées par RTE dans ou à proximité de sites Natura 2000 est repris dans le volume V de la présente étude d'impact. L'absence d'incidence significative du projet global Cigéo sur les sites Natura 2000 est confirmée.

5.2 Les travaux en phase de construction initiale

5.2.1 Les travaux relatifs au centre de stockage Cigéo

Les travaux menés sur le périmètre du centre de stockage Cigéo pendant la phase de construction initiale seront réalisés sur une période d'une durée de 10 ans à 15 ans.

Les principaux travaux menés pendant cette phase consistent en la construction des ouvrages et bâtiments permettant la mise en service de l'installation nucléaire de base du centre de stockage (la réception des premiers colis de déchets radioactifs).

Ils comprennent la construction d'installations de surface et le creusement des premiers ouvrages souterrains.

Les principaux ouvrages construits et équipés pendant cette phase sont :

- l'installation de réception et de préparation des colis de déchets radioactifs de la zone descenderie (bâtiment nucléaire de surface EP1) et tous les autres bâtiments de surface liés au fonctionnement de l'installation nucléaire de base du centre de stockage Cigéo ;
- les liaisons surface-fond (descenderies et puits) et les zones souterraines de soutien logistique ;
- les ouvrages souterrains du quartier pilote HA et les premiers ouvrages du quartier de stockage des colis de déchets MA-VL ;
- l'ouvrage de protection contre les remontées de nappes phréatiques de type paroi étanche visant à protéger notamment le bâtiment nucléaire de surface EP1 et le terminal ferroviaire nucléaire des remontées de nappe souterraine. Des ouvrages de drainages des eaux sont associés à cet ouvrage de protection pour permettre leur réinjection directe dans le milieu naturel. Une partie des travaux de construction de ces ouvrages pourrait être débutée en phase d'aménagements préalables.

Pour mener à bien ces opérations, des installations temporaires de chantier (ITC) sont mises en place. Elles sont déployées suivant en deux phases :

- la première phase regroupe la gestion des accès (parkings et voiries de dessertes), l'installation des bases vies (bureaux) et des premiers parcs matériels provisoires ;
- la seconde phase regroupe la mise en place des installations à caractère industriel (centrale à béton, concasseurs, centrales d'enrobage, zones de préfabrication d'éléments structurels, zones de maintenance, de stockage, d'entretien et de nettoyage des matériels ainsi que des moyens de levage, éclairages de chantier, etc.).

À la fin des chantiers, les surfaces accueillant les ITC seront remises en état.

Comme les aménagements préalables, les travaux de construction initiale s'accompagnent d'investigation géotechniques.

» CAMPAGNES DE FORAGES GÉOTECHNIQUES

De façon classique, préalablement à la construction d'ouvrages et de bâtiments, des campagnes de forages géotechniques sont réalisées pour évaluer la capacité du sol et du sous-sol à les accueillir et pour finaliser les études de conception et de dimensionnement des bâtiments.

Différentes campagnes sont réalisées de manière graduelle. Elles permettent de définir, dans un premier temps et durant la phase de conception des ouvrages, les principes généraux de construction (campagne géotechnique G1). Puis, dans un second temps, sont définis les principes constructifs présentant une ébauche dimensionnelle des fondations des ouvrages (campagne géotechnique G2). Enfin, de dernières campagnes sont réalisées par les entreprises en charge de la construction lors de l'exécution des travaux (campagnes géotechniques G3/G4).

Pour le centre de stockage Cigéo, des campagnes de forages géotechniques de type G1 et G2 ont déjà été menées sur l'emprise des ouvrages de la zone descenderie et de l'installation terminale embranchée. Elles sont encore à réaliser pour la zone puits et pour la liaison intersites.

Les campagnes de forages géotechniques G3 et G4 seront réalisées ultérieurement par les entreprises d'exécution.

Au stade de la présente actualisation de l'étude d'impact, les modalités d'exécution de ces travaux, présentées ci-après, ne sont pas arrêtées car elles seront de la responsabilité des entreprises en charge de la réalisation des travaux.

5.2.2 Le déploiement des installations temporaires de chantier

Après avoir notamment procédé aux aménagements préalables nécessaires aux débuts des travaux de la construction initiale du centre de stockage Cigéo au droit de la zone descenderie et de la zone puits, les installations temporaires de chantier peuvent être mises en œuvre.

Une séparation logistique de la construction en différents chantiers est nécessaire afin d'éviter et/ou de limiter les croisements de flux du personnel et d'optimiser les distances entre les chantiers de construction et ces installations de chantier.

La zone descenderie accueille les installations temporaires de chantier nécessaires à la construction des bâtiments de surface de la zone descenderie et au creusement et à la construction des descenderies et des premiers ouvrages souterrains des zones de soutien logistique et des zones de stockage.

La zone puits accueille les installations temporaires de chantier nécessaires à la construction des bâtiments de surface de la zone puits et au creusement des puits.

Sur chaque zone, des chantiers sont répartis sur différentes parties de la zone en fonction de la nature des travaux. Par exemple, sur la zone descenderie, le chantier de construction des descenderies est séparé du chantier de construction du bâtiment nucléaire de surface EP1.

Ces installations temporaires de chantier peuvent de fait notamment être composées :

- d'aires de stationnement mutualisées pour les véhicules personnels ;
- de bureaux de chantier (y compris sanitaires, vestiaires et réfectoires) ;
- d'aires de stationnement pour les engins de chantier et véhicules entreprises ;
- de zones de stockage des matériaux de construction ainsi que des matériels ;
- de zones d'entretien des véhicules de chantier y compris de réparation des matériels d'excavation ;
- de zones de stockage des déblais/remblais avant réutilisation ;
- de zones de préfabrication (ferraillage…) ;
- de zones de tri des déchets ;
- de zones dédiées aux moyens de levage de type grues à tour, etc.

5.2.3 Les installations de chantier spécifique

5.2.3.1 Les centrales à béton

En zone descenderie, les installations nucléaires de surface sont des ouvrages qui se prêtent peu à de la préfabrication, pour des raisons d'étanchéité, de solidité et d'épaisseur de murs. Les bâtiments concernés sont donc traités comme coulés en place. Ils nécessiteront des quantités importantes de béton.

Il sera nécessaire d'installer deux centrales à béton distinctes pour la construction des ouvrages que sont le bâtiment nucléaire de surface EP1 et les descenderies sur le centre de stockage Cigéo du fait :

- de natures de béton différentes ;
- de pointes de production similaires ;
- du besoin d'une certaine proximité avec chacun des chantiers aux vues des quantités importantes de béton nécessaires à la construction de ces ouvrages.

La production de béton pour l'ensemble des autres bâtiments de la zone descenderie, de quantité moindre, pourrait faire soit l'objet d'une troisième centrale à béton, soit d'une mutualisation avec les deux autres centrales présentes, voire d'une livraison par camions toupie alimentés depuis des installations extérieures.

En zone puits, une centrale à béton est mise en place pour le chantier relatif aux ouvrages souterrains.

Tout comme pour la zone descenderie, la production de béton pour l'ensemble des autres bâtiments de la zone puits pourrait faire l'objet d'une seconde centrale à béton qui leur est spécifique, d'une mutualisation avec la centrale utile à la construction de ouvrages souterrains ou d'une livraison par camions toupie alimentés depuis des installations extérieures.

5.2.3.2 Les convoyeurs nécessaires aux installations temporaires de chantier

Un convoyeur pérenne semi-enterré faisant parti de la liaison intersites permet notamment l'acheminement des matériaux extraits du creusement des ouvrages souterrains depuis la zone descenderie jusqu'à leur dépôt en zone puits (cf. Chapitre 5.2.4 du présent volume). Ce convoyeur permet également l'amenée de matériaux de construction depuis le terminal ferroviaire fret jusqu'à la zone puits. En complément, un convoyeur provisoire est installé entre le terminal ferroviaire fret et les centrales à béton de la zone descenderie afin de les desservir en matériaux.

5.2.3.3 Les zones d'entreposage temporaire d'explosifs

En cas d'utilisation d'explosifs, des zones d'entreposage temporaires sont prévues afin d'accueillir le besoin journalier en explosif. Ces zones sont éloignées des ouvrages à construire.

5.2.3.4 La zone de ravitaillement en carburant

La réception et la mise en œuvre de carburants pour l'alimentation des engins de chantier à moteurs thermiques et des groupes électrogènes est nécessaire.

5.2.3.5 La centrale de production des enrobés

Sur la zone descenderie, la centrale des productions des enrobés nécessaires pour imperméabiliser les voiries et installée dès les aménagements préalables, est conservée jusqu'à la fin de la construction initiale.

5.2.3.6 Le creusement des liaisons surface fond

Pour le creusement des ouvrages souterrains (puits, descenderies) sont utilisées soit une méthode avec mise en œuvre d'explosifs, soit une méthode avec mise œuvre de tunneliers pleine face. Certaines galeries sont réalisées à l'aide de brises roches hydrauliques ou de tunneliers à attaque ponctuelle.

La méthode de creusement à l'explosif consiste à creuser un puits borgne en descendant à partir d'un plancher de travail mobile, à un ou plusieurs niveaux, suspendu depuis la surface à des câbles accrochés à un chevalement.

Un système de treuils et câbles permet la mobilité de ce plancher, ainsi que l'ensemble des équipements installés en puits (cuffats, ascenseur personnel, éclairage…).

Le cycle de fonçage généralement adopté est le suivant :

- abattage des terrains ;
- chargement et évacuation des déblais ;
- pose du soutènement, puis du revêtement lorsque celui-ci est nécessaire.

Préalablement à ces opérations de creusement des puits, les opérations suivantes doivent être réalisées :

- préparation de la zone d'accueil des chevalements (avant puits) et ateliers de treuillage des puits ;
- installation des chevalements et ateliers de treuillage ;
- installation des équipements d'alimentation et de connexion des chevalements (alimentation électrique haute tension, alimentation en eau, reprise des eaux d'exhaure) ;
- installation d'un élévateur à déblais et de trémies de stockage des déblais en tête de chaque puits en vue du chargement de la bande transporteuse assurant le transport des déblais vers les zones de réutilisation des déblais rocheux et vers la zone de dépôt de l'argilite excavée ;
- installation de centrales de ventilation extrayant l'air vicié des puits en cours de creusement et ultérieurement, après adaptation, en vue de leur utilisation pour la ventilation travaux (ultérieure à la construction initiale) et la ventilation exploitation.

La méthode de creusement envisagée pour le corps et le pied des deux descenderies est le creusement mécanisé au moyen de deux tunneliers à bouclier simple travaillant en parallèle.

Les méthodes de creusement envisagées pour les recoupes des descenderies sont les suivantes :

- l'explosif hors des couches du Callovo-Oxfordien (huit premières recoupes) ;
- méthodes conventionnelles au brise roche hydraulique (BRH) dans le Callovo-Oxfordien.

Préalablement à ces opérations de creusement des descenderies, les opérations suivantes doivent être réalisées :

- installation d'une zone de montage des deux tunneliers. Elle permettra l'assemblage des modules à l'aide de grues de montage mais aussi à l'installation des équipements d'alimentation et de connexion des tunneliers (alimentation électrique haute tension, alimentation en eau, reprise des eaux d'exhaure) ;
- installation d'un élévateur à déblais et de trémies de stockage en tête de chaque descenderie en vue du chargement de la bande transporteuse assurant le transport des déblais vers la zone puits ;
- installation d'une centrale de ventilation extrayant l'air vicié des galeries en cours de creusement ;
- installation d'une zone de déchargement et de stockage provisoire des voussoirs.

5.2.4 La gestion des matériaux excavés de la zone « travaux » de la zone puits

Les matériaux excavés sont regroupés en surface sur des aires de conservation provisoire, situées à proximité des points d'extraction, puis acheminés vers la zone de gestion par bande transporteuse. Si nécessaire, ils sont homogénéisés (concassage, tri) dans un bâtiment dédié. Cet ouvrage, de surface au sol d'environ 8 000 m^2 et de hauteur approximative de 18 mètres permet également d'assurer un stock tampon en cas de maintenance des bandes transporteuses.

Compte tenu de la topographie du site présentant un dénivelé vers la vallée de l'Ormançon, la zone d'implantation des verses est aménagée sur des plateformes étagées. Afin d'optimiser cette mise en dépôt et de réduire la surface totale de la zone, ces plateformes sont munies d'une digue sur les côtés nord, ouest et sud. La hauteur maximale actuellement envisagée pour les verses est d'environ 20 mètres. Une couverture végétalisée est installée au fur et à mesure afin de protéger le Callovo-Oxfordien excavé des intempéries et de réduire les impacts environnementaux.

La réalisation des aménagements nécessaires à la gestion des verses (digue, bassins) sur la zone puits est étendue graduellement, afin de limiter le défrichement et la consommation d'emprise foncière dans le temps au juste nécessaire.

En phase de construction initiale, les flux liés à l'excavation des argilites du Callovo-Oxfordien se font de la manière suivante :

- jusqu'au creusement des puits, les verses sont excavées par les descenderies service et colis puis transportées jusqu'à la zone de stockage des verses en zone puits *via* un convoyeur de matériaux (dit de plaine, parallèle à la LIS) ;
- une fois les puits creusés, les verses sont remontées en surface par le puits matériel et matériaux travaux (MMT) puis transportées jusqu'à la zone de stockage des verses en zone puits *via* un convoyeur enterré de transfert de l'argilite excavée.

5.2.5 L'ouvrage de protection des remontées de nappes phréatiques

Sur la zone descenderie, l'exécution de l'ouvrage de protection contre les remontées de nappe phréatique nécessite des méthodes de terrassement particulières (tirs de pré-découpage, pré-terrassement, etc.) et une mise en œuvre conséquente de moyens et de matériels (notamment centrale boues benthoniques implantée sur une installation temporaire de chantier dédiée composée d'un silo de stockage de poudre de bentonite, de bassins de stockage de boue neuves ou recyclées, d'éléments de traitement de type dessaleur/cyclones, de tuyaux et d'une pompe pour la distribution de la boue).

5.3 Les travaux en phase de fonctionnement

5.3.1 L'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH)

Des mesures conservatoires ont été prises pour la construction de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH) sur la zone descenderie.

Le bâtiment de réception des emballages à déchargement horizontal ETH est un ouvrage qui sera raccordé au bâtiment nucléaire de surface EP1 après la première mise en service de l'INB pendant la Phipil. L'objectif principal de cet ouvrage est de permettre la réception d'emballages à déchargement horizontal.

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 a été étudié dès l'origine dans l'objectif de permettre la jonction d'un ouvrage construit en tranche ultérieure. Cela se concrétise par la possibilité de raccorder l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal ETH au bâtiment nucléaire de surface EP1 par un tunnel de transfert, positionné afin d'assurer la mutualisation d'un transbordeur entre les deux, assurant ainsi une continuité de la manutention. Par ailleurs le tunnel de transfert permet également l'extension de certains réseaux depuis le bâtiment nucléaire de surface EP1 (électricité de puissance, contrôle commande et conduite, fluides). Les accès du personnel se font également à partir du bâtiment nucléaire de surface EP1. Ces dispositions concourent à mutualiser au maximum les ressources disponibles.

Les fonctionnalités de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal ETH sont identiques à celles du bâtiment nucléaire de surface EP1.

Les travaux de construction de cet ouvrage se fera au sein d'un périmètre indépendant à l'INB dit « en chaussette ».

5.3.2 Le bâtiment nucléaire de surface EP2

Des mesures conservatoires ont été prises pour la construction du bâtiment nucléaire de surface EP2. Ce bâtiment se déploiera vers l'est de la zone descenderie et amènera à étendre le périmètre physique de l'INB.

Cet ouvrage est construit ultérieurement à la mise en service de la phase industrielle pilote en vue d'une mise en service à l'horizon 2080. L'objectif principal de cet ouvrage est de permettre la réception des colis de haute activité, notamment les colis HA1 et HA2, ainsi que certains colis MA-VL vitrifiés stockés dans le quartier de stockage HA.

Le bâtiment nucléaire de surface EP2 est raccordé aux installations existantes par une jonction à l'est de la tête de descenderie colis, laquelle comprend des dispositions constructives afin de faciliter le raccordement par un ouvrage de liaison.

Un embranchement ferré du terminal INB est créé en vue d'orienter les wagons vers le bâtiment EP2.

Les travaux de construction de ce bâtiment se fera au sein d'un périmètre indépendant à l'INB dit « en chaussette ».

5.3.3 Les déconstructions/constructions de certains bâtiments et ouvrages de surface

Un programme de maintenance préventive (contrôles et essais périodiques adaptés) est mis en place afin de vérifier les caractéristiques fonctionnelles attendues des ouvrages et équipements et de vérifier qu'il n'y a pas de dégradation dans le temps de leurs caractéristiques. Un programme de jouvence (remplacement) est défini à des fréquences adaptées aux équipements et ouvrages afin d'anticiper leur vieillissement et/ou leur obsolescence.

Notamment des travaux de déconstruction/construction éventuelles de bâtiments et ouvrages de surface pourront être nécessaires. Ces travaux nécessitent des équipements et moyens classiques de construction/déconstruction.

5.3.4 L'extension des ouvrages souterrains et la gestion des matériaux excavés de la zone « travaux » de la zone puits

En phase de fonctionnement, des travaux d'extension des ouvrages souterrains sont réalisés :

- creusement d'alvéoles MA-VL supplémentaires ;
- creusement progressif du quartier de stockage HA.

Les travaux d'extension progressive de l'installation souterraine, par tranches successives, sont organisés en fonction des futurs besoins et de la délivrance des autorisations associées.

Les installations souterraines en travaux sont indépendantes des installations souterraines en exploitation. Cette indépendance et notamment garantie par une séparation physique des flux, des réseaux et d'un isolement des travaux par des SAS d'interface « exploitation/travaux ».

Le Callovo-Oxfordien excavé lors des creusements est géré au fur et à mesure des travaux de déploiement progressif de l'installation souterraine. Les modalités de gestion des matériaux excavés seront étendues à la phase fonctionnement.

En phase de fonctionnement, le flux de verses inclut :

- les verses excavées, liées à la construction des blocs MA-VL et quartiers de stockage HA, qui sortent par le puits matériel et matériaux travaux (MMT) pour être entreposées dans la zone de stockage des verses en zone puits *via* un convoyeur enterré de transfert de l'argilite excavée ;
- les verses de fermeture, utilisées pour la fermeture du quartier pilote HA puis la fermeture du quartier de stockage MA-VL, qui transitent par le convoyeur de plaine jusqu'à la zone descenderie puis la descenderie de service.

La surface totale des plateformes de la zone de verses et des plateformes pour l'entreposage des terres et la gestion des flux d'expédition, bassins de gestion des eaux compris, est d'environ 108 ha (Z1 et Z2). Le volume global de Callovo-Oxfordien déposé ou transitant sur ces plateformes correspond à environ 11 millions de m^3.

Une troisième zone (Z3), d'environ 39 hectares, pourrait être envisagée pour les derniers travaux d'extension des ouvrages de stockage à l'horizon 2070-2080, au cas où la disponibilité des filières extérieures de valorisation serait remise en cause.

5.4 Les travaux en phase démantèlement et fermeture

Au terme de la phase de fonctionnement, l'ensemble des installations du centre de stockage Cigéo seront mises à l'arrêt définitif et démantelées. L'installation souterraine sera par ailleurs progressivement fermée.

Le démantèlement devra être autorisé par un décret (article L. 593-28 du code de l'environnement) et seule une loi pourra autoriser la fermeture définitive du centre de stockage Cigéo (article L. 541-10-1 du code de l'environnement).

L'étape de démantèlement a pour objet l'évacuation de toute substance dangereuse ou radioactive du site, la découpe et le démontage des équipements. Elle est suivie d'une étape de déconstruction des installations de surface, des voiries et réseaux, etc., qui ne sont pas nécessaires aux activités de surveillance ultérieures après fermeture et à la mémoire du site.

Dès la fin de l'exploitation du quartier de stockage MA-VL, le bâtiment nucléaire de surface EP1 fait l'objet d'une première étape de démantèlement.

Dans un premier temps, le zonage de déchets du bâtiment est mis à jour afin de redéfinir la limite entre zones à production de déchets nucléaires et zones à déchets conventionnels, l'objectif étant une optimisation de la gestion des déchets.

Les opérations de démantèlement comprennent principalement deux types d'activités :

- le démantèlement des équipements activés ou contaminés (équipements situés dans les zones à production possible de déchets nucléaires (ZppDN[168]) et la gestion des flux de déchets induits correspondants (collecte, mesures radiologiques, tri, traitement et conditionnement pour évacuation vers les exutoires appropriés) ;
- l'assainissement des structures en béton activées ou contaminées. Les objectifs de cette phase, pour chaque périmètre, sont l'assainissement final du périmètre concerné en vue du déclassement des locaux en zone non réglementée avec un zonage à déchets conventionnels et l'évacuation des déchets produits au cours des opérations d'assainissement.

Pour ce qui concerne la déconstruction des bâtiments de surface cela consiste à déconstruire :

- le génie civil et le second œuvre : les cuvelages de cellule, les hublots, les trappes métalliques, les portes blindées, les escaliers, les structures de soutien, les portes d'accès, les rails... ;
- les éventuels équipements de manutention maintenus pour les besoins de déconstruction ;
- les réseaux d'alimentation : les réseaux électriques, les réseaux fluides et utilités et, le cas échéant, les réseaux enterrés ;
- la ventilation nucléaire.

Les technologies associées à la démolition auront probablement évolué lorsque le démantèlement sera autorisé après la phase de fonctionnement.

Sont actuellement couramment utilisés pour des opérations de déconstruction, des pelles, des brises-roches hydrauliques, des marteaux piqueurs hydrauliques, des cisailles à béton, des grappins hydrauliques de démolition et de tri... (cf. Figure 5-7).



Figure 5-7 Photographie d'opération de démolition

L'évaluation des incidences prend en compte l'évolution dans le temps du projet et ses différentes phases de vie : les phases des aménagements préalables, de construction initiale et de fonctionnement. Pour les périodes correspondant au démantèlement des installations et à la post-fermeture qui n'interviendront pas avant plusieurs décennies (période d'exploitation séculaire), les principaux impacts attendus sont présentés séparément.

[168] Les « zones à production possible de déchets nucléaires » (ZppDN) sont les zones où sont produits des déchets contaminés, activés ou susceptibles de l'être. Les déchets produits dans ces zones doivent faire l'objet d'une gestion spécifique et renforcée, dans des filières dédiées, autorisées à cet effet.

6

L'estimation des consommations de ressources et des émissions et résidus attendus

6.1 Les consommations de ressources 276
6.2 Les émissions et résidus attendus 279

6.1 Les consommations de ressources

Sont présentées dans ce chapitre, la demande et l'utilisation d'énergie ainsi que la nature et les quantités des matériaux principaux et des ressources naturelles estimées pour la phase de fonctionnement du projet global Cigéo. Des éléments indicatifs sont également précisés pour les phases d'aménagements préalables et de construction initiale. Ces éléments seront affinés et prendrons en compte la démarche d'amélioration de la conception au cours des actualisations ultérieures de la présente étude d'impact.

6.1.1 L'énergie

6.1.1.1 Le centre de stockage Cigéo

Les différentes solutions techniques envisagées pour répondre aux besoins en énergie sont présentés dans le chapitre 2.5.3.2 du présent volume. Celles retenues, ainsi que les consommations associées, sont synthétisées ci-après.

Les principes d'utilisation rationnelle de l'énergie retenus sur le centre de stockage Cigéo sont présentés pour les différentes phases au chapitre 2.3 du volume IV de la présente étude d'impact.

6.1.1.1.1 Les carburants pour engins et moteurs

Pendant les phases d'aménagements préalables et de construction initiale, des engins et véhicules à moteur thermique utiliseront environ 1 000 à 4 000 m³/an de carburant, soit, en ordre de grandeur, un approvisionnement d'un à deux camion-citerne par semaine. La demande en carburant est surtout liée aux mouvements de terre qui nécessitent l'utilisation d'engins de chantier puissants.

Pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo, du fioul est utilisé pour l'alimentation des groupes électrogènes de secours. Ils sont mis en marche régulièrement pour garantir leur fonctionnement en cas d'accident. La consommation annuelle moyenne de fioul estimé en phase de fonctionnement est comprise entre 100 mètres à 200 m³/an.

La consommation de gazole des trains circulant sur l'ITE est marginal compte tenu du faible nombre de trains acheminant les colis de déchets radioactifs (1 à 3 par semaine).

6.1.1.1.2 L'énergie électrique

La puissance nécessaire au centre de stockage Cigéo augmente pendant toute la phase d'aménagements préalables du fait du déploiement progressif des engins de travaux.

Le fonctionnement des engins de travaux et des équipements du centre de stockage (outils de creusement, funiculaires, outils de manutention, ventilateurs…) induit ensuite une consommation importante d'énergie électrique en phases construction initiale puis fonctionnement. La consommation annuelle maximale estimée est de l'ordre de 200 GWh.

Comme le montre la figure 6-1, le besoin prévisionnel en puissance évolue lors des trois phases successives « aménagements préalables », « construction initiale » et « fonctionnement » avec :

- un pic de puissance de l'ordre de 80 MVA à 90 MVA en fin de phase aménagements préalables et début de phase construction initiale. Ce pic est induit par l'importante activité de creusement des galeries souterraines ;
- une puissance de l'ordre de 45 MVA à 60 MVA pendant la phase de fonctionnement (dénommée « exploitation » sur la figure 6-1).

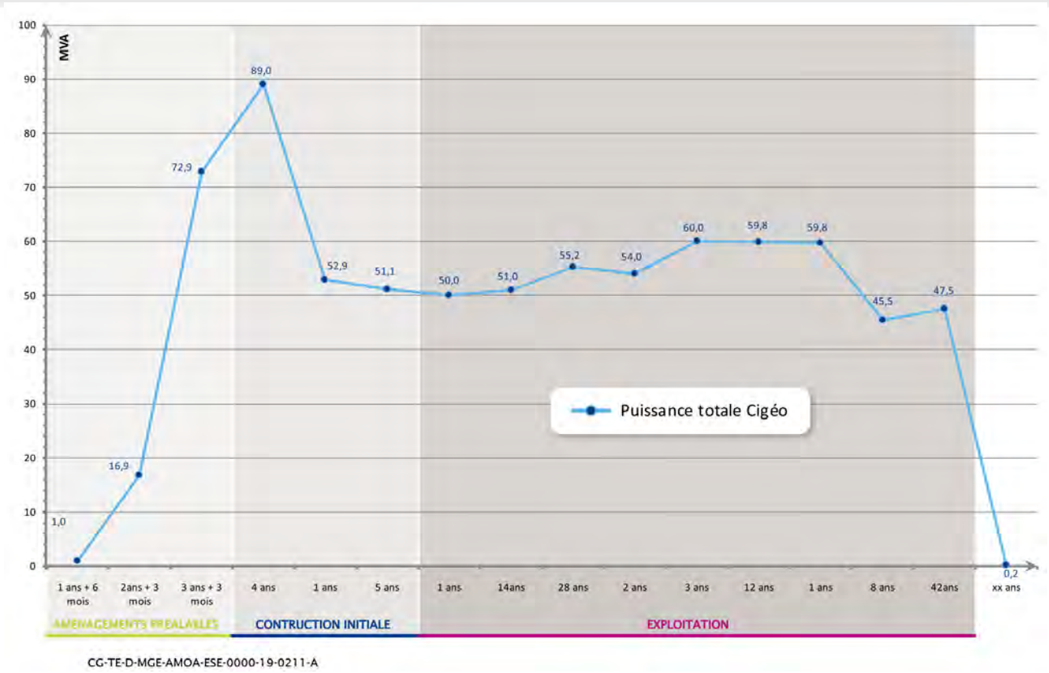


Figure 6-1 Estimation puissance électrique maximale nécessaire au centre de stockage Cigéo

» VOLTAMPERE

Le voltampère (VA) mesure la puissance électrique dite apparente, c'est-à-dire la puissance maximale que pourra prendre la puissance active exprimée en watt (W). C'est l'unité de référence pour dimensionner les équipements électriques industriels.

En termes d'alimentation, l'énergie électrique provenant du réseau national est privilégiée compte tenu de sa fiabilité et sa disponibilité et surtout afin de minimiser le potentiel calorifique dans les installations.

6.1.1.1.3 L'énergie thermique

Les besoins en énergie thermique pour le traitement de l'air (chauffage, régulation de l'hydrométrie) n'interviennent que pendant la phase de fonctionnement. Ils s'élèvent à environ 16 000 MWh par an utilisés dans les installations nucléaires souterraine et de surface, équivalent au chauffage annuel d'environ 1 800 logements.

» LA RESSOURCE EN BOIS POUR LES CHAUDIÈRES

La loi relative à la transition énergétique du 17 août 2015 se traduit dans la région Grand Est par la montée de la filière biomasse énergie (145).

S'agissant de la ressource en « bois énergie », la région Grand Est dispose d'une ressource forestière abondante et variée. La croissance annuelle de cette ressource y est élevée par rapport à l'accroissement moyen du pays.

Les chaudières biomasse mise en œuvre sur le centre de stockage Cigéo consommeraient une part relativement faible du potentiel de la région. Localement, elle représenterait moins de 10 % de la capacité accessible pour les projets de chaufferies et industriels sur le seul pays Barois (moins de 6 000 tonnes de bois/an pour le centre de stockage Cigéo pour un potentiel actuel réel de 68 000 tonnes/an).

6.1.1.2 Les autres opérations

Les consommations en carburants et en énergie électrique des autres opérations du projet global Cigéo sont négligeables par rapport à celles du centre de stockage Cigéo. Elles ne sont pas de nature à modifier l'ordre de grandeur des précédentes estimations.

Notamment, en ce qui concerne l'opération expédition et transport de colis, la consommation de gazole des trains circulant la ligne ferroviaire 027000 est marginal compte tenu du faible nombre de trains acheminant les colis de déchets radioactifs (1 à 3 par semaine). Au-delà de Nançois-Tronville, les trains peuvent circuler avec une locomotive diesel ou électrique.

6.1.2 L'eau

6.1.2.1 Le centre de stockage Cigéo

Les pics de besoin en eau du centre de stockage sont estimés à :

- 500 m³/j pendant les phases d'aménagements préalables et construction initiale, la consommation étant liée aux besoins en eau du chantier, notamment la fabrication du béton pour les installations de surface ;
- 200 m³/j en phase de fonctionnement.

Il est prévu la mise en fonctionnement dès la fin de la phase aménagements préalables/début de la phase de construction initiale (cf. Chapitre 6.2.3.1 du présent volume) :

- de stations d'épuration, permettent le traitement des eaux usées d'origine sanitaire et des eaux industrielles de surface ;
- de dispositifs de traitement des eaux d'exhaure et des eaux industrielles souterraines.

Les eaux usées traitées par ces ouvrages sont ensuite réutilisées pour les usages internes ne nécessitant pas une eau de qualité de type « eau potable » : arrosage, fabrication du béton, lavage des engins. Pour ce faire des dispositifs d'approvisionnement en eaux recyclées sont prévus, un en zone descenderie et un en zone puits.

En fin de phase aménagements préalables et en phase construction initiale, en cas de défaillance momentanée de ces systèmes de traitement des eaux usées, les eaux pluviales pourront également alimentées ces dispositifs d'approvisionnement en eaux recyclées, après passage dans leurs dispositifs de traitement spécifiques (cf. Chapitre 6.2.3.1 du présent volume), en lieu et place des eaux usées d'origine sanitaire et eaux industrielles de surface traitées et des eaux d'exhaure/eaux industrielles souterraines traitées.

La réutilisation des eaux usées ou eaux pluviales traitées nécessite la mise en place de réservoirs de stockage/distribution des eaux dites « recyclées ». Le nombre de réservoirs et le volume de stockage varient en fonction de la phase de déploiement du centre de stockage Cigéo ; ils sont présentés dans le tableau 6-1 ci-après et localisés sur les figures qui suivent.

Les eaux recyclées peuvent être utilisées pendant trois jours, laps de temps maximal pour un usage n'impliquant pas une consommation humaine. Passé le délai de trois jours, les eaux sont rejetées vers le milieu naturel en respectant le principe de non-aggravation des risques d'inondation en aval, vers la Bureau en zone descenderie et vers l'Ormançon en zone puits.

» LES DISPOSITIFS D'APPROVISIONNEMENT EN EAUX RECYCLÉES

Afin de garantir l'alimentation des dispositifs d'approvisionnement en eaux recyclées du centre de stockage Cigéo (un en zone descenderie, un en zone puits), il est prévu :

- différents réservoirs de stockage des eaux recyclées de volumes adaptés aux besoins des installations du centre de stockage Cigéo consommatrices d'eaux recyclées ;
- en cas de défaillance de l'approvisionnement en eaux recyclées depuis les installations de traitement des eaux usées (dysfonctionnement des filières de traitement : stations d'épuration permettant de traiter les eaux usées d'origine sanitaire et eaux industrielles des installations de surface ou dispositifs de traitement des eaux de fond, etc.), une autonomie du système apportée par la possibilité de prélever dans le réservoir de stockage des eaux pluviales[169].

Tableau 6-1 Présentation des dispositifs d'approvisionnement en eaux recyclées du centre de stockage Cigéo

Type d'eau recyclée	Phases de construction initiale et de fonctionnement	
	Zone puits	Zone descenderie
Effluents traités au niveau d'une station d'épuration (= eaux usées d'origine sanitaire et eaux industrielles provenant des installations de surface)	1 station d'épuration 1 réservoir de 200 m³	1 station d'épuration 1 réservoir de 700 m³
Effluents traités au niveau du dispositif de traitement des eaux de fond (= eaux d'exhaure et eaux industrielles provenant des installations souterraines appelées aussi eaux de fond)	1 dispositif de traitement 2 réservoirs de 3 100 m³ en cumul en phase de construction initiale, puis 1 réservoir de 1 600 m³ en phase de fonctionnement	1 dispositif de traitement 1 réservoir de 3 000 m³ uniquement en phase de construction initiale
Eaux pluviales	Réservoir en amont des bassins quantitatifs : 2 500 m³	Réservoirs en amont des bassins quantitatifs : 1 000 m³

Notons qu'en dernier recours, en cas d'indisponibilité d'un dispositif d'approvisionnement en eaux recyclées, les installations du centre de stockage Cigéo concernées pourront être alimentées *via* un approvisionnement direct depuis le réseau d'adduction d'eau potable.

Les besoins en eau non potable du centre de stockage Cigéo sont couverts, dans l'ordre suivant :

- par l'utilisation, en priorité, des eaux usées d'origine sanitaire et eaux industrielles provenant des installations de surface épurées au niveau des stations d'épuration ;
- par utilisation des eaux d'exhaure et eaux industrielles provenant des installations souterraines épurées au niveau des dispositifs de traitement des eaux de fond ;
- en cas de défaillance momentané des systèmes de traitement des eaux précédemment citées, par utilisation des eaux pluviales conservées dans des réservoirs de stockage dédiés ;
- en dernier recours, par des appoints d'eau potable, ces derniers étant limités au maximum.

[169] En amont des bassins quantitatifs de la zone descenderie et de la zone puits (entre les bassins qualitatifs et les bassins quantitatifs), sont implantés des réservoirs d'eau pluviale qui font office de réserves pour l'alimentation du dispositif de recyclage des eaux, au cas où les eaux usées traitées (= eaux usées d'origine sanitaire et eaux industrielles des installations de surface + eaux de fond) ne seraient pas suffisantes aux besoins d'eau recyclée. Le maintien du réservoir de la zone descenderie sera réinterrogé pendant la phase de fonctionnement en fonction du besoin.

Le principe de recyclage des eaux, en fonction des phases de déploiement du centre de stockage Cigéo, est visible sur les figures du chapitre 6.2.3.1.7 du présent volume qui présentent de manière plus générale les modalités de gestion des eaux du centre de stockage Cigéo.



Figure 6-2 Localisation des réservoirs de distribution des eaux recyclées en zone descenderie

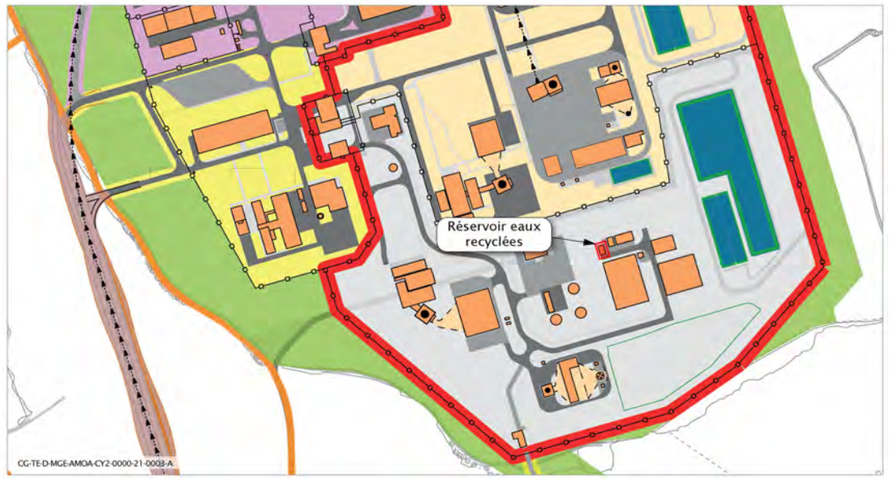


Figure 6-3 Localisation des réservoirs de distribution des eaux recyclées en zone puits

Les besoins en eau potable ci-avant annoncés tiennent compte de ce recyclage. Les captages de Thonnance-lès-Joinville, d'Échenay et de Gondrecourt-Le-Château, utilisés par les syndicats des eaux et qui font l'objet d'arrêtés d'utilité publique de protection, sont utilisés pour assurer l'alimentation du centre de stockage Cigéo et répondre à ces besoins.

Les besoins en eau potable ainsi optimisés ne remettent pas en cause l'équilibre local de la ressource en eau. Comme mentionné dans le chapitre 5 du volume IV de la présente étude d'impact, la somme des débits autorisés des trois captages autorisés d'Échenay, Gondrecourt-le-Château et de Thonnance-lès-Joinville (>2 000 m³) excède largement les besoins cumulés des syndicats et du centre de stockage Cigéo. Les prélèvements pour les besoins du centre de stockage Cigéo ainsi optimisés n'ont pas d'incidence sur l'utilisation actuelle pour l'approvisionnement en eau des populations locales.

Par ailleurs, les résultats des études des différentes solutions de raccordement engagées par les syndicats d'eau de la Meuse et de la Haute-Marne seront pris en compte pour définir l'opération d'adduction d'eau du projet global Cigéo avec un objectif de continuité dans l'approvisionnement en eau des populations locales (débits prélevés adaptés à la capacité de recharge des captages sollicités pour le besoin).

6.1.2.2 Les autres opérations

Les besoins en eau des autres opérations du projet global Cigéo sont minimes en comparaison des besoins du centre de stockage. Ils ne sont pas de nature à modifier l'ordre de grandeur des précédentes estimations.

6.1.3 Les matériaux de construction

6.1.3.1 Le centre de stockage Cigéo

La construction des installations et ouvrages du centre de stockage Cigéo nécessite des volumes importants de matériaux (bétons et aciers essentiellement).

Selon les premières estimations, les besoins en matériaux de construction du centre de stockage sont de l'ordre de :

- 5,7 millions de tonnes de granulats ;
- 1,4 millions de tonnes de ciment ;
- 4,9 millions de tonnes de sables.

Un peu plus de la moitié de ces matériaux (51,6 %) est utilisé en phase de construction initiale pour les installations de surface, les liaisons surfaces-fond. Environ 45,6 % de ces matériaux servent principalement pour l'extension de l'installation souterraine pendant le siècle de phase de fonctionnement et de manière anecdotique pour les opérations de jouvence. Les 2,7 % restants sont mis en œuvre au moment de la phase des aménagements préalables.

Des éléments complémentaires sur les filières d'approvisionnement en matériaux pour la construction du centre de stockage, les incidences sur la disponibilité durable des ressources naturelles ainsi que les mesures de réduction des consommations en matériaux sont présentées au chapitre 4.5 du volume IV de la présente étude d'impact. L'Andra réfléchit à plusieurs procédés de réduction des besoins en béton.

6.1.3.2 Les autres opérations

Les autres opérations du projet global Cigéo auront des besoins minimes en matériaux de construction en comparaison de ceux nécessaires au centre de stockage. Ces besoins seront limités aux travaux suivants :

- pour les opérations de caractérisation et surveillance environnementale : la réalisation de forages ;
- pour l'opération alimentation électrique : passage de la fibre optique et sécurisation des pylônes le long de la ligne 400 kV, construction du transformateur et mise en place des câbles électriques, de leurs gaines et stabilisation dans le sol pour les liaisons souterraines ;
- pour l'opération adduction d'eau : mise en place des tuyaux et stabilisation dans le sol ;
- pour l'opération mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, réfection de la plateforme, rénovation des ouvrages d'art et construction des éventuels ouvrages de rétablissement des voiries en cas de fermeture de passages à niveau le long de la ligne ferroviaire ;
- pour l'opération déviation de la route départementale D60/960 : création d'ouvrages d'art et de la plateforme routière.

Synthèse – Consommations de ressources

- **Consommation d'énergie**

  Les principales énergies utilisées pour le projet global Cigéo sont :

  ✓ les hydrocarbures en phase d'aménagements préalables avec une consommation de l'ordre de 1 000 à 4 000 m³/an pour le fonctionnement des engins ;

  ✓ l'énergie électrique pour le fonctionnement des équipements du centre de stockage (outils de creusement, funiculaires, outils de manutention, ventilateurs…) avec une consommation maximale estimée de l'ordre de 200 GWh/an et un besoin prévisionnel en puissance qui évolue lors des trois phases successives « aménagements préalables », « construction initiale » et « fonctionnement » avec :

  - un pic de puissance de l'ordre de 80 MVA à 90 MVA pendant les phases aménagements préalables et construction initiale ;
  - une puissance de l'ordre de 45 MVA à 60 MVA pendant la phase de fonctionnement ;

  ✓ l'énergie thermique en phase de fonctionnement avec une consommation de l'ordre de 16 000 MWh/an pour le traitement de l'air (chauffage, régulation de l'hygrométrie).

- **Consommation d'eau**

  Les pics de besoin en eau du projet global Cigéo sont estimés à :

  ✓ 500 m³/j pendant les phases d'aménagements préalables et e construction initiale ;

  ✓ 200 m³/j en phase de fonctionnement.

  Le pic de consommation de la phase de construction initiale est lié aux besoins en eau du chantier du centre de stockage Cigéo, notamment la fabrication du béton pour les installations de surface.

  Les stations d'épuration mises en place dès la phase de construction initiale permettront la réutilisation des eaux traitées pour les usages internes ne nécessitant pas une eau de qualité « eau potable » : arrosage, fabrication du béton, lavage des engins.

- **Consommation de matériaux de construction**

  Selon les premières estimations, les besoins en matériaux de construction du centre de stockage Cigéo sont de l'ordre de :

  ✓ 5,7 millions de tonnes de granulats ;

  ✓ 1,4 millions de tonnes de ciment ;

  ✓ 4,9 millions de tonnes de sables.

  Un peu plus de la moitié de ces matériaux (51,6 %) est utilisé en phase de construction initiale pour les installations de surface, les liaisons surfaces-fond. Environ 45,6 % de ces matériaux servent principalement pour l'extension de l'installation souterraine pendant le siècle de phase de fonctionnement et de manière anecdotique pour les opérations de jouvence. Les 2,7 % restants sont mis en œuvre au moment de la phase des aménagements préalables. L'Andra réfléchit à plusieurs procédés de réduction des besoins en béton.

6.2 Les émissions et résidus attendus

Les émissions attendues (dans les milieux air, eau, sol) sont majoritairement induites par la construction des installations de surface et infrastructures du centre de stockage Cigéo et le déploiement progressif de l'installation souterraine de stockage. Le projet ne comprend aucun procédé de transformation. En fonctionnement normal, les émissions induites par les procédés de fonctionnement du centre de stockage sont faibles.

Des éléments complémentaires sur les émissions du centre de stockage Cigéo en fonctionnement normal sont présentés au chapitre 2.3.3 du volume IV de la présente étude d'impact.

Les évaluations de ces émissions et de leurs impacts sont détaillées tout au long du volume IV. Elles respecteront les arrêtés et décrets d'autorisation pris par les autorités compétentes. Des actions de surveillance des émissions sont mises en œuvre pendant la durée des différentes phases de travaux et de fonctionnement afin d'obtenir un suivi et de réaliser toute adaptation éventuelle des mesures préventives retenues.

Les émissions des opérations d'adduction d'eau, de raccordement électrique, de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de déviation de la route départementale D60/960 sont minimes en comparaison des besoins du centre de stockage. Elles ne sont pas de nature à modifier l'ordre de grandeur des estimations relatives au centre de stockage Cigéo.

6.2.1 Les terres et matériaux excavés

6.2.1.1 Le centre de stockage Cigéo

6.2.1.1.1 Les déblais issus du terrassement des installations de surface et du creusement des liaisons surface-fond de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo

Pendant la phase d'aménagements préalables, les déblais issus des nivellements pour les installations de surface représentent un volume de terre en place de l'ordre de 8 millions de m³.

Pendant la phase de construction initiale et de fonctionnement, les déblais issus des nivellements complémentaires pour les installations de surface, principalement EP1 et EP2, des creusements des liaisons surface fond et d'extension des zones de verses (Z2 et Z3) représentent un volume de terre en place de l'ordre 4,4 millions de m³.

Le détail par zone est donné ci-après.

Les déblais de terrassement et principaux ouvrages en terre en zone descenderie

Les volumes de terrassement en zone descenderie proviennent essentiellement de la réalisation lors des aménagements préalables des plateformes d'accueil des ouvrages de surface et du nivellement des voiries. Pendant cette phase, les mouvements de terres de la zone descenderie mobilisent un volume de terre en place de l'ordre de 4,7 millions de m³.

Les phases suivantes, de construction initiale et de fonctionnement mobilisent quant-à-elles un volume de terre en place de l'ordre de 1,6 millions de m³. Les volumes extraits correspondent aux déblais issus des nivellements complémentaires pour les installations de surface, principalement EP1 et EP2.

Ces mouvements de terre permettent globalement d'obtenir un équilibre déblais/remblais[170] pour le nivellement général de la zone.

Les principaux ouvrages en terre (cf. Figure 6-4) correspondent :

- au nivellement des bassins nord de la zone exploitation [1] pouvant entrainer jusqu'à +10 mètres de remblais ;
- aux plateformes au droit de l'actuelle route départementale D60/960 [2] entrainant ponctuellement des remblais de l'ordre de +6 mètres ;
- à la zone du bâtiment nucléaire [3] amenant des déblais allant de -6 mètres à -10 mètres ;

[170] Les remblais sont notés en hauteur positive (+) et les déblais en profondeur négative (-).

- au terminal ferroviaire fret entraînant une dizaine de mètres de déblais [4]. Dans ce secteur, quelques déblais très ponctuels peuvent atteindre – 17 mètres ;
- au merlon [5] de la zone exploitation qui amène des déblais de l'ordre de -10 mètres et des remblais pouvant aller jusqu'à +15 mètres.

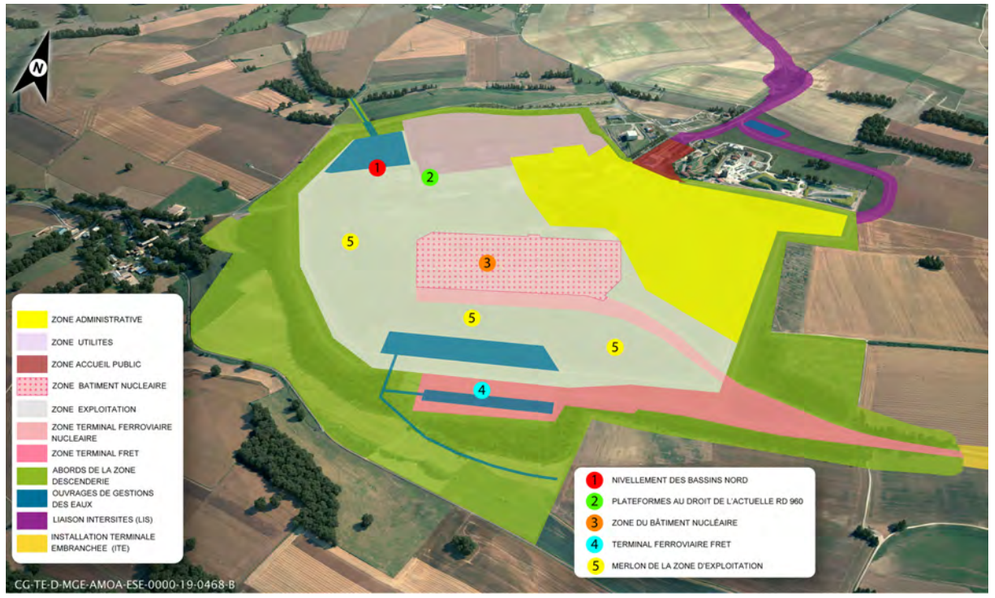


Figure 6-4 Identification des principaux ouvrages en terre en zone descenderie

Les déblais de terrassement et principaux ouvrages en terre en zone puits

Les volumes de terrassement en zone puits proviennent essentiellement des plateformes d'accueil des ouvrages de surface et du nivellement des voiries. Pendant les aménagements préalables, les mouvements de terres de la zone puits mobilisent un volume de terre en place de l'ordre de 3,3 millions de m^3.

Les phases suivantes de construction initiale et de fonctionnement mobilisent quant-à-elles un volume de terre en place de l'ordre de 2,8 millions de m^3. Les volumes extraits correspondent aux déblais issus des creusements des liaisons surface fond et de l'extension des zones de verses (Z2 et Z3).

Ces mouvements de terre permettent globalement d'obtenir un équilibre déblais/remblais[171] dans le nivellement général de la zone.

Les principaux ouvrages en terre (cf. Figure 6-5) correspondent :

- à la réalisation de la digue sud/ouest et nord [1] de la zone de dépôt des verses amenant des remblais, pour les plus importants, allant de + 9 mètres à +15 mètres avec très ponctuellement des remblais à +18 mètres ;
- à la plateforme de dépôt des verses [2] pouvant entraîner des déblais allant de -6 mètres à -9 mètres ;
- au bassin nord [3] nécessitant des déblais variant entre – 9 mètres et -15 mètres ;
- aux bassins sud [4] amenant des déblais de – 8 mètres à -12 mètres.

[171] Les remblais sont notés en hauteur positive (+) et les déblais en profondeur négative (-).

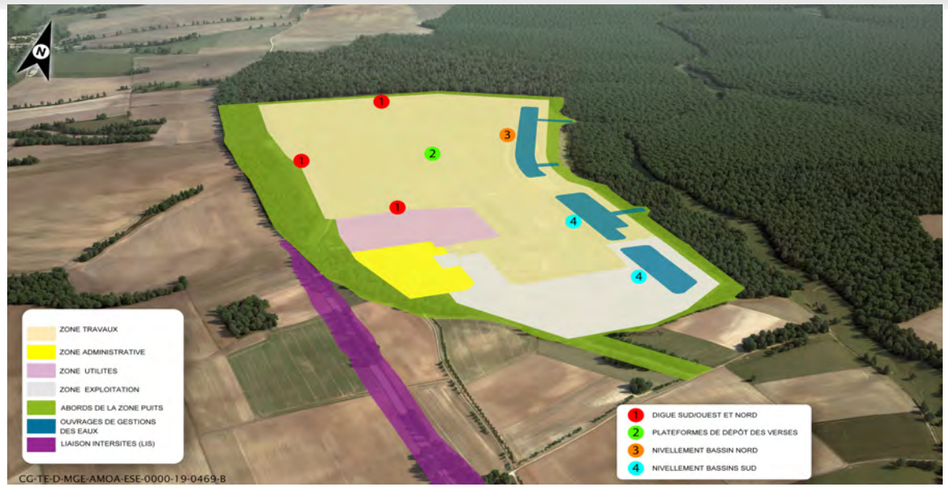


Figure 6-5 Identification des principaux ouvrages en terre en zone puits

Les exigences en matière de gestion des terres

Les exigences principales en matière de gestion des terres et des matériaux excavés sont un tri en fonction de leur qualité et une recherche de l'équilibre des bilans déblais/remblais pour leur réutilisation optimale sur les zones remaniées. La prise en compte du relief pour la composition spatiale du site, l'optimisation du phasage du chantier et la recherche de solutions de réemplois, détaillées au chapitre 3.3.2 du volume IV de la présente étude d'impact, sont les clefs de l'équilibre du bilan déblais/remblais.

Les matériaux terreux sont conservés et réutilisés pour les besoins d'aménagements paysagers des installations. Les déblais produits en surface ont des caractéristiques permettant, pour la majorité, leur réutilisation pour les aménagements dans le cadre du projet global et sont utilisés comme remblais. Ainsi, les estimations actuelles concluent à l'absence d'importation de terre.

6.2.1.1.2 Les déblais du Callovo-Oxfordien extraits lors du creusement des galeries et des alvéoles de l'installation souterraine

Les déblais du Callovo-Oxfordien extraits lors du creusement des galeries et des alvéoles de l'installation souterraine représentent un volume de l'ordre de 11 millions de mètres cubes produits sur plus de 100 ans. À titre de comparaison, lors du creusement des grands tunnels, réalisés sur une dizaine d'années (soit une durée environ 10 fois plus courte que le creusement de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo), le volume de matériaux générés est du même ordre de grandeur : par exemple, environ 7 millions de mètres cubes pour le tunnel sous la Manche, environ 15 millions de mètres cubes prévus pour le futur tunnel de base de la liaison ferroviaire Lyon-Turin.

Ces matériaux extraits sont regroupés sur la zone puits (cf. Chapitre 2.4.1.3.4b) et chapitre 3.2.4.2.2 du présent volume) :

- environ 40 % de ces matériaux seront réutilisés pour le remblayage de l'installation souterraine lors de sa fermeture. Pour ce faire, ils seront entreposés sous forme de verses. Ils sont dénommés verses « vives » ;
- pour les 60 % qui ne seront pas utilisés pour la fermeture de l'installation souterraine, l'Andra recherche des solutions de valorisation hors du centre de stockage.

6.2.1.2 Les autres opérations

Pour les autres opérations du projet global Cigéo, dans une moindre mesure, des terrassements et des mouvements de terre sont nécessaires en phase d'aménagements préalables pour :

- aplanir la plateforme accueillant le poste de transformation 400/90 kV à proximité de la zone descenderie ;
- réaliser les tranchées de quelques mètres de large pour les liaisons électriques enterrées entre les zones puits et descenderie ;
- réaliser les tranchées de quelques mètres de large pour les adductions d'eau depuis les trois points de captages ;
- étayer ponctuellement les ouvrages d'art des éventuels rétablissements de passages à niveau le long de la ligne ferroviaire 027000 ;
- aplanir la plateforme accueillant la déviation de la route départementale D60/960 à proximité de la zone descenderie et créer des ouvrages de franchissement des cours d'eau pour les variantes sud et nord.

Actuellement, pour les quatre opérations cumulées mentionnées dans le tableau 6-2, les volumes de déblais sont évalués à environ 500 000 m^3 et les volumes de remblais estimés sont quasiment équivalents.

De manière générale, l'objectif est la réutilisation des déblais en remblai sur le chantier des maîtres d'ouvrage respectifs des autres opérations ou éventuellement sur une autre opération du projet global Cigéo sous réserve

de la qualité des matériaux. En effet, les travaux de ces opérations auront lieu simultanément.

En comparaison des mouvements de terres des zones puits et descenderie du centre de stockage Cigéo, ceux générés par les autres opérations du projet global Cigéo sont de faible ampleur.

6.2.2 Les émissions atmosphériques

Les caractérisations qualitative et quantitative de ces émissions atmosphériques, ainsi que les installations de gestion et de traitement associées sont présentées dans le chapitre 2.4.1 du volume IV de la présente étude d'impact.

6.2.2.1 Les émissions atmosphériques conventionnelles

Le projet global Cigéo est susceptible d'émettre des rejets de substances dans l'air de type conventionnel : des gaz, ou des particules (poussières).

Les sources d'émission sont de trois types :

- sources linéiques dues aux véhicules circulant sur le site et sur le réseau principal (routes nationales et départementales) ;
- sources surfaciques liées à la présence d'engins et de stocks de matériaux à l'air libre ;
- sources canalisées liées aux émissaires de rejets des installions et ouvrages (cheminées).

Les substances susceptibles d'être émises en quantité plus ou moins importante à au moins une des phases du projet global Cigéo, sont :

- le monoxyde de carbone (CO), émis principalement par les véhicules et engins de chantier ;
- les oxydes d'azote (NO_x) émis principalement par les véhicules et les chaudières ;
- les oxydes de soufre (SO_x) émis essentiellement par les chaudières ;
- les hydrocarbures, notamment les composés organiques volatiles (COV), émis principalement par les véhicules et engins de chantier.

Les particules ou poussières en suspension sont constituées de poussières potentiellement polluantes de composition diverse. Elles sont susceptibles d'être principalement émises lors des travaux de terrassement et du transport. Les particules sont classées en fonction de leur taille qui conditionne leurs effets sur la santé notamment ou leur capacité à rester en suspension dans l'air :

- les PM_{10} : particules dont le diamètre est inférieur à 10 microns (µm) soit 0,01 mm ;
- les $PM_{2,5}$: particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 microns (µm) soit 0,0025 mm.

6.2.2.1.1 Le centre de stockage Cigéo

Les activités susceptibles d'engendrer un impact sur la qualité de l'air en **phase d'aménagements préalables** sont essentiellement :

- les opérations de défrichement : le broyage des branchages peut entraîner l'envol de particules. Cependant, l'envol de particules lié à ce type d'opération est limité en distance. Les copeaux et broyats donnent des particules essentiellement de grosse taille, qui se déposent rapidement ;
- les opérations de terrassements et d'excavations incluant des opérations de criblage, de concassage des matériaux ainsi que le déplacement et le stockage des matériaux excavés, le creusement de tranchées pour le passage des différents réseaux et l'utilisation d'explosifs ;
- les éventuelles opérations de traitement des sols aux liants hydrauliques (chaux) ;
- la circulation de véhicules et d'engins de chantier ;
- le fonctionnement des installations de production de béton et de mortier nécessaires à la construction des infrastructures ;
- le fonctionnement de l'installation de la centrale d'enrobage qui permettra de produire le revêtement des pistes de circulation ;
- les zones de stockage des matériaux utiles aux besoins du chantier.

Les substances associées à chaque source de la phase d'aménagements préalables sont présentées dans le tableau 6-2.

Tableau 6-2 Recensements des sources d'émissions atmosphériques conventionnelles en phase d'aménagements préalables sur le périmètre du centre de stockage Cigéo

Source d'émission	Substances émises	Installations du projet global Cigéo
Terrassements	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
		ITE, alimentation électrique, liaisons intersites, déviation de la route départementale D60/960, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000
Défrichement	Poussières (PM10, PM2.5), Nox, CO, HC (dont COV)	Zone puits
Tirs d'explosifs	CO, Nox, Sox, NH_3	Zone descenderie, zone puits
Concasseur	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone puits, zone descenderie
Circulation des véhicules (et engins de chantiers) – échappement des véhicules	Nox, CO, HC (dont COV), particules fines	Zone descenderie, zone puits
		Travaux : ITE, alimentation électrique, liaison intersites, déviation de la route départementale D60/960, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000

Source d'émission	Substances émises	Installations du projet global Cigéo
Circulation des véhicules et engins de chantiers – Remise en suspension des poussières par passage des véhicules	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
		ITE, alimentation électrique, liaisons intersites, déviation de la route départementale D60/960, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000
Centrale d'enrobage	Sox, Nox, CO, HC (dont COV et HAP), métaux, particules fines	Zone descenderie
Centrale à béton	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
Centrale à mortier	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
Stockage de matériaux	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone puits, zones descenderie

Une fois que les modalités de travaux sur les zones puits et descenderie seront définies dans leurs grands principes, une quantification des poussières et COV pourra être réalisée pour la phase la plus pénalisante d'aménagements préalables, en tenant compte des étapes de travaux, des nombres et des types d'engins, des cadences. Ces éléments n'étant pas figés au jour de la réalisation de la présente étude, cette quantification sera présentée dans une prochaine actualisation de la présente étude d'impact.

Les activités susceptibles d'engendrer un impact sur la qualité de l'air en **phase de construction initiale** sont essentiellement :

- les opérations de terrassements et d'excavations incluant des opérations de criblage, de concassage des matériaux ainsi que le déplacement et le stockage des matériaux excavés, le creusement de tranchées pour le passage des différents réseaux et l'utilisation d'explosif ;
- les éventuelles opérations de traitement des sols aux liants hydrauliques (chaux) des sols en place ;
- la circulation de véhicules et d'engins de chantier ;
- le fonctionnement des installations de production de béton et de mortier nécessaires à la construction des infrastructures ;
- le fonctionnement de l'installation de la centrale d'enrobage qui permettra de produire le revêtement des pistes de circulation ;
- les zones de stockage des matériaux excavés ou utiles aux besoin du chantier ;
- le creusement des liaisons surface-fond (puits et descenderie) ;
- les activités réalisées au sein des ateliers de maintenance (mécaniques, chaudronnerie, menuiserie…).

Les substances associées à chaque source de la phase de construction initiale sont présentées dans le tableau 6-3.

Tableau 6-3 Recensements des sources d'émissions atmosphériques conventionnelles en phase de construction initiale sur le périmètre du centre de stockage Cigéo

Source d'émission	Substances émises	Installations
Circulation de véhicules (gaz d'échappements)	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits, LIS, routes départementales
Circulation de véhicules (roulage)	PM10, PM 2.5	Zone descenderie, zone puits, LIS, routes départementales
Engins de chantier (gaz d'échappement)	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits
Engins de chantier (activités de chantier et roulage)	PM10, PM 2,5	Zone descenderie, zone puits
Stockage des matériaux/terrains mis à nu	PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits
Centrale à béton/mortier	PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits
Atelier de maintenance (atelier mécanique)	NOx, CO, COV, HAP*, SOx et PM10 et PM2.5	Zone descenderie, zone puits
Creusement (descenderie service, descenderie colis, puits air vicié travaux (VVT), puits air vicié exploitation (VVE), puits (VFE, VFT, MMT)).	PM10, PM2.5, NOx, CO, SOx	Zone descenderie, zone puits

Sont présentés dans les chapitres 2 des volumes IV et VII de la présente étude d'impact un plan de localisation des sources d'émissions, les caractéristiques des émissions, des points de rejet et des flux pour chacune des sources ainsi que le bilan détaillé des émissions en phase de construction initiale.

Sont présentées dans le chapitre 2 du volume IV et le chapitre 3 du volume VI de la présente étude d'impact les concentrations dans l'air liées aux émissions conventionnelles en phase de construction initiale ainsi que leur incidence sur l'environnement et la santé des populations.

Le bilan global des émissions (sources ponctuelles, sources linéiques et sources surfaciques incluses) est donné dans le tableau 6-4 pour la phase de construction initiale.

Tableau 6-4 Bilan des émissions atmosphériques conventionnelles en phase de construction initiale sur le périmètre du centre de stockage Cigéo

	Émissions en tonnes/an						
	NOx	PM10	PM2.5	CO	SO2	Benzène	COV
Zone descenderie	76.06	203.27	145.17	165.22	7.72	25.13	29.31
Zone puits	65.85	174.55	89.41	169.55	1.16	7.39	11.39
Liaison intersites	0.35	4.19	1.03	0.21	0.00	0.000	0.01
Trafic extérieur lié au projet (hors LIS)	2.87	10.26	2.63	2.05	0.00	0.002	0.06
TOTAL	**145.13**	**392.27**	**238.25**	**337.04**	**8.89**	**32.53**	**40.78**

Les activités susceptibles d'engendrer un impact sur la qualité de l'air en phase de fonctionnement sont essentiellement :

- le fonctionnement des installations en place (notamment chaudières, dispositifs de ventilation des puits et descenderies) ;
- l'extension de l'installation souterraine qui se traduit en surface par les dépôts de ver es ;
- la jouvence progressive des installations pour maintenir le haut niveau de qualité de fonctionnement du centre de stockage sur plus d'un siècle.

Les substances associées à chaque source et pour la phase de fonctionnement sont détaillées dans le tableau 6-5.

Tableau 6-5 Recensements des sources d'émissions atmosphériques conventionnelles en phase de fonctionnement sur le périmètre du centre de stockage Cigéo

Source d'émission	Substances émises	Installations
Circulation de véhicules	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits, LIS, routes départementales
Engins de chantier	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5	Zone puits
Stockage des matériaux (verses)	PM10, PM2.5	Zone puits
Centrale à béton/mortier	PM10, PM2.5	Zone puits
Chaufferies Biomasse	NOx, SOx, PM10, PM2,5, CO, COV	Zone descenderie, zone puits
Chaufferies à gaz	CO, NOx, SOx	Zone descenderie, zone puits
Descenderie de service	NOx, SOx, PM10, PM2,5	Zone descenderie
Ventilation installation souterraine (zone travaux VVT)	NOx, SOx, COV PM10, PM2,5	Zone puits

Sont présentés dans les chapitres 2 des volumes IV et VII de la présente étude d'impact un plan de localisation des sources d'émissions, les caractéristiques des émissions, des points de rejet et des flux pour chacune des sources ainsi que le bilan détaillé des émissions en phase de fonctionnement.

Sont présentées dans le chapitre 2 du volume IV et le chapitre 3 du volume VI de la présente étude d'impact, les concentrations dans l'air liées aux émissions conventionnelles en phase de fonctionnement ainsi que leur incidence sur l'environnement et la santé des populations.

Le bilan global des émissions (sources ponctuelles, sources linéiques et sources surfaciques incluses) est donné dans le tableau 6-6 pour la phase de fonctionnement.

Tableau 6-6 Bilan des émissions atmosphériques conventionnelles en phase de fonctionnement sur le périmètre du centre de stockage Cigéo

	Émissions en tonnes/an						
	NOx	PM10	PM2.5	CO	SO2	Benzène	COV
Zone descenderie	10.29	14.78	4.74	6.88	3.75	0.24	1.11
Zone puits	28.53	207.01	145.65	55.00	5.37	2.86	4.40
Liaison intersites		5.18	1.28	0.20	0.00	615E-05	0.01
Trafic extérieur lié au projet (hors LIS)	0.41	5.16	1.30	0.56	0.00	184E-04	0.01
TOTAL	**39.39**	**232.12**	**152.96**	**62.64**	**9.12**	**3.104**	**5.53**

6.2.2.1.2 Les autres opérations

Les travaux de réalisation de la liaison intersites, de l'installation terminale embranchée, de l'alimentation électrique, de l'adduction d'eau, de la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de la déviation de la route départementale D60/960 sont à l'origine de mise en suspension de poussières dans l'air et d'émissions de gaz de combustion en lien avec l'utilisation d'engins de chantier et de véhicules. Toutefois les chantiers concernent des surfaces moins importantes que les zones puits et descenderie et se font sur des durées plus courtes. Les émissions sont donc faibles au regard de celles émises sur les zones puits et descenderie.

En phase de construction initiale et de fonctionnement, les émissions de la voie ferroviaire 027000 sont très faibles au regard des autres activités

6.2.2.2 Les émissions atmosphériques radioactives

Les émissions radioactives du centre de stockage Cigéo sont liées à la présence de colis radioactifs qui ne sont présents qu'à partir de la phase de fonctionnement.

Les émissions radioactives dans l'air liées au transport des colis de déchets avant leur arrivée sur le centre de stockage Cigéo sont extrêmement faibles. Les colis de déchets radioactifs sont transportés sur la voie publique ou privée dans des emballages, répondant à des critères stricts définis sur la base des recommandations de l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA), de la règlementation française et des conventions et accord européens relatifs au transport de marchandises dangereuses. Un plan de transport des colis de déchets radioactifs est élaboré et le transport des colis est suivi en temps réel par géolocalisation.

Les sources d'émission d'éléments radioactifs dans l'air au niveau des installations du centre de stockage Cigéo proviennent :

- du relâchement, en très faible quantité, d'éléments radioactifs gazeux par certains colis de déchets MA-VL. Ces éléments radioactifs gazeux sont le tritium (^{3}H), le carbone 14 (^{14}C) et le krypton 85 (^{85}Kr). Ces trois éléments radioactifs très volatils, restent à l'état gazeux ou sous forme de vapeur d'eau, sans former d'aérosols (particules solides ou liquides en suspension dans l'air). Ils sont également faiblement radiotoxiques ;
- de la présence potentielle de traces de contamination sur les surfaces externes des colis de déchets qui sont réceptionnés. Ces traces de contamination sont des particules radioactives, émetteurs alpha et bêta/gamma, pouvant être présents sur la surface externe des colis de déchets radioactifs. Ils peuvent être mis en suspension par la ventilation des locaux.

Les rejets atmosphériques gazeux sont effectués *via* des émissaires permettant de les canaliser, de les filtrer et de les surveiller. Ces émissaires s nt :

- une cheminée reliée à l'usine de ventilation de la zone puits, qui canalise et contient l'instrumentation de la surveillance de l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation ;
- une cheminée en toit de l'installation nucléaire de surface située sur la zone descenderie.

Les éléments radioactifs gazeux présents et non piégés dans les déchets MA-VL sont le tritium (^{3}H), le carbone 14 (^{14}C) et le krypton 85 (^{85}Kr).

Les particules qui peuvent être présentes à la surface des colis de déchets contiennent des éléments radioactifs émetteurs de rayonnements alpha ou bêta/gamma qui peuvent être mis en suspension lors des opérations de manutention de ceux-ci. Ces éléments sont piégés par les filtres à très haute efficacité. Le reliquat des rejets dans l'atmosphère des gaz et potentielles particules radioactives non filtrées sont effectués au niveau des émissaires de ces ventilations (cheminées) sur la zone puits pour l'installation souterraine et sur la zone descenderie au niveau du bâtiment nucléaire de surface.

Les rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux sont évalués au niveau de chaque émissaire (la cheminée du bâtiment nucléaire de surface EP1 et la cheminée de ventilation de la zone en exploitation de l'installation souterraine).

Les rejets de l'installation souterraine représentent la source majoritaire de plusieurs ordres de grandeur. Les rejets de l'installation nucléaire de surface, localisée sur la zone descenderie, sont négligeables devant ceux de la cheminée de l'installation souterraine.

Les quantifications annuelles maximales des substances atmosphériques radioactives générées par le centre de stockage (installations de surface et souterraines) sont indiquées dans le tableau 6-7 et le tableau 6-8. Leur incidence sur l'environnement et la santé des populations est analysé dans le chapitre le chapitre 2 du volume IV et le chapitre 4 du Volume VI de la présente étude d'impact.

Les rejets radioactifs sont exprimés en becquerel ou giga becquerel par an.

GIGA

Giga (symbole G) est le préfixe du Système international d'unités (SI) qui représente 10^{9}, soit un milliard de foi' l'unité qui suit.

Tableau 6-7 Rejets atmosphériques radioactifs annuels maximaux de l'installation nucléaire de surface du centre de stockage Cigéo

Cheminée de l'installation nucléaire de surface	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux
Tritium (^{3}H)	de l'ordre de 3 GBq/an
Carbone 14 (^{14}C)	de l'ordre de 3 GBq/an
Krypton 85 (^{85}Kr)	de l'ordre de 50 GBq/an
Émetteurs beta	de l'ordre de 600 Bq/an
Émetteurs alpha	de l'ordre de 60 Bq/an

Tableau 6-8 Rejets atmosphériques radioactifs annuels maximaux de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo

Cheminée de l'installation souterraine	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux
Tritium (^{3}H)	De l'ordre de 300 GBq/an
Carbone 14 (^{14}C)	De l'ordre de 300 GBq/an
Krypton 85 (^{85}Kr)	De l'ordre de 5 000 GBq/an
Émetteurs beta	De l'ordre de 85 000 Bq/an
Émetteurs alpha	De l'ordre de 8 500 Bq/an

Les modélisations de dispersion atmosphérique effectuées montrent que les concentrations maximales dans l'air liées à ces rejets de gaz et d'aérosols radioactifs, situées à quelques centaines de mètres de l'émissaire de la zone puits et en dehors des zones habitées, sont très faibles. Elles diminuent significativement avec la distance.

En phase de fonctionnement, l'exposition humaine liée aux émissions du projet global Cigéo est ainsi largement inférieure à la contrainte réglementaire de 1 mSv/an pour les activités humaines en dehors de la radioactivité naturelle et des doses reçues en médecine et à celle de 0,25 mSv/an retenue par l'Andra. Elle est imperceptible au regard de l'exposition annuelle due à la radioactivité naturelle de la population française, même la moins exposée (moyenne à 2,9 mSv/an, et fourchette basse, correspondant à la zone de Meuse/Haute-Marne à 1,6 mSv/an). Compte tenu de la diminution rapide des concentrations en gaz et aérosols radioactifs des rejets radioactifs atmosphériques avec la distance et des faibles quantités mises en jeu, les effets du projet global ne se cumulent pas avec d'autres projets et installations nucléaires de la région, et n'ont pas d'effet transfrontalier.

6.2.3 Les émissions liquides

6.2.3.1 Le centre de stockage Cigéo

À chaque phase du projet global Cigéo correspond des quantités et des natures d'**effluents liquides conventionnels** traités, recyclés ou rejetés (rejets compatibles avec les critères de bon état chimique et écologique des eaux superficielles) avec un objectif de bon état chimique et écologique des cours d'eau.

Les équipements sont évolutifs de la phase d'aménagements préalables, jusqu'à la mise en œuvre des dispositifs définitifs. Les éléments présentés ci-après concerne les ouvrages définitifs de gestion des émissions liquides du centre de stockage Cigéo qui seront opérationnels en phase de fonctionnement. Pour les phases aménagements préliminaires et construction initiale, des ouvrages provisoires seront mis en œuvre selon les mêmes grands principes (dimensionnement, réseaux séparatifs...).

Les émissions liquides dites conventionnelles comprennent :

- les **eaux pluviales** collectées sur les surfaces imperméabilisées (toitures, voiries, parkings) et certaines surfaces artificialisées des zones d'intervention potentielle (espaces verts, verses...). Les **eaux pluviales ruisselants sur les verses** font l'objet d'une attention particulière et sont donc identifiées comme un « type d'eau » spécifique ;
- les **eaux usées d'origine sanitaire**, comprenant les eaux vannes (WC), les eaux grises (douches, lavabos, cuisine...) et les **eaux industrielles de surface** (ou effluents conventionnels issus des installations en surfa e) ;
- les eaux d'exhaure conventionnelles (collectées lors du creusement des liaisons surface-fond ou des ouvrages souterrains de stockage) et les eaux industrielles générées dans l'installation souterraine regroupées sous le terme **eaux de fond**.

Le process nucléaire pour le stockage des colis de déchets radioactifs du centre de stockage Cigéo (opérations de manutention et de transferts principalement) ne génère pas d'effluents radioactifs liquides. Pendant le fonctionnement de l'INB, certains effluents collectés dans les zones à production possibles de déchets nucléaires

(par exemple, liés aux condensats des unités intérieures de récupération d'énergie du bâtiment nucléaire de surface EP1) ou dans le système de collecte des eaux d'exhaure des alvéoles HA (eaux ayant été au contact des colis de déchets) peuvent contenir des substances radioactives. Ces effluents liquides, dits "non conventionnels" ne sont pas rejetés localement et font l'objet d'une gestion distincte à savoir leur collecte et leur envoi vers une filière externe dédiée au traitement des déchets liquides radioactifs.

Différents type de traitement et modes de gestion sont mis en œuvre selon la nature des effluents ; les principes de traitement et gestion sont présentés succinctement ci-après, étant entendu que le principe des réseaux séparatifs est appliqué pour les réseaux eaux pluviales et eaux usées (regroupant les eaux usée' d'origine sanitaire, les eaux industrielles générées dans les installations de surface, les eaux d'exhaure conventionnelles et le eaux industrielles générées dans l'installation souterraine).

Les caractérisations qualitatives (avant et après ouvrages de traitement mis en œuvre) et quantitatives de ces émissions liquides, ainsi que les installations de gestion et de traitement sont présentées en détail dans le chapitre 5 du Volume IV de la présente étude d'impact ; des synthèses sont présentées ci-après.

6.2.3.1.1 Les modalités de gestion des eaux pluviales

En zone descenderie et en zone puits, les eaux pluviales sont collectées et acheminées dans des bassins étanches de traitement, contrôlées et régulées avant rejet. Elles sont collectées, puis stockées au sein de bassins qualitatifs (traitement par décantation), puis transitent vers des bassins quantitatifs pour permettre un rejet régulé vers le milieu naturel (dimensionnement pour une pluie décennale pour la phase d'aménagements préalables, puis une pluie centennale à partir de la phase de construction initiale). Par ailleurs, les pentes admissibles pour les infrastructures routières sont fixées à un maximum de 6 %, pour assurer la collecte des écoulements superficiels et répondre au confinement d'une pollution accidentelle.

La gestion des eaux pluviales de la zone descenderie est assuré par les différents dispositifs suivants :

- des bassins qualitatifs nécessaires à la gestion des eaux pluviales recueillies sur les surfaces imperméabilisées ainsi que sur les surfaces non imperméabilisées collectées. Le total des surfaces imperméabilisées de la zone descenderie est de l'ordre de 320 000 m². Ces bassins, localisés au nord et au sud de la zone descenderie, permettent la collecte et le traitement des eaux pluviales avant rejet vers les bassins quantitatifs. Ils ont une capacité globale de stockage de l'ordre de 20 000 m³. En complément, un bassin spécifique de capaciter d'environ 1 000 m³ récupère les eaux pluviales du terminal ferroviaire fret. La surface globale approximative de ces bassins est de 20 000 m² ;
- des bassins quantitatifs avant rejet vers le milieu extérieur. Ces bassins permettent de réguler le débit d'eau rejeté dans le milieu naturel. Ils ont une capacité globale de l'ordre de 90 000 m³. En complément, un bassin spécifique de capaciter d'environ 10 000 m³ récupère les eaux pluviales du terminal ferroviaire fret. La surface globale approximative de ces bassins est de 48 000 m² ;
- deux bassins complémentaires, dits de « confinement », de capacité globale d'environ 2 300 m³ et de surface d'environ 1 000 m². Ils sont positionnés sur le terminal ferroviaire nucléaire en amont des bassins qualitatifs sud de la zone descenderie.

La gestion des eaux pluviales de la zone puits est assuré par les différents dispositifs suivants :

- des bassins qualitatifs nécessaires à la gestion des eaux pluviales recueillies sur les surfaces imperméabilisées ainsi que sur les surfaces non imperméabilisées collectées. Le total des surfaces imperméabilisées de la zone puits est de l'ordre de 260 000 m². Ces bassins, localisés à l'est de la zone puits, permettent la collecte et le traitement des eaux pluviales avant rejet vers les bassins quantitatifs. Ils ont une capacité globale de stockage de l'ordre de 10 000 m³. La surface globale approximative de ces bassins est de 10 000 m² ;
- des bassins quantitatifs avant rejet vers le milieu extérieur. Ces bassins permettent de réguler le débit d'eau rejeté dans le milieu naturel. Ils ont une capacité globale de l'ordre de 54 000 m³. La surface globale approximative de ces bassins est de 30 000 m².

Notons qu'en cas de défaillance momentané des systèmes de traitement des eaux usées et des eaux industrielles de surface et/ou des eaux d'exhaure et des eaux industrielles souterraines, les eaux pluviales collectées en zone descenderie et zone puits (hors zone des verses) peuvent être renvoyées vers le dispositif de recyclage des eaux du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 6.1.2.1 du présent volume).

Les eaux pluviales ruisselant sur la liaison intersites sont gérées qualitativement et quantitativement au moyen de deux bassins de collecte multifonction dimensionnés pour la pluie décennale avec un rejet à débit régulé vers le milieu naturel.

Les eaux pluviales ruisselant sur la plateforme ferroviaire de l'installation terminale embranchée sont gérées grâce à trois bassins de collecte multifonction dimensionnés pour la pluie décennale. Le rejet vers le milieu naturel se fait à débit régulé.

Les eaux pluviales ne sont pas comptabilisées dans les volumes à traiter par exutoire puisque toutes les dispositions ont été mises en place pour reproduire la situation actuelle. C'est-à-dire qu'au niveau de la qualité de l'eau, elle se rapprochera de celle du milieu récepteur (bon état écologique et chimique).

6.2.3.1.2 Les modalités de gestion des eaux de ruissellement des verses

Pour mémoire, en zone puits, les verses sont progressivement recouvertes de matériaux terreux et de végétation. Sur les parties recouvertes, les eaux pluviales s'infiltrent dans ces couches de couverture. Elles ne sont, ni collectées spécifiquement, ni traitées par la filière de rejet. En revanche, les eaux pluviales qui ruissellent sur les parties des verses en activité (non encore recouvertes) sont collectées. Les eaux pluviales ruisselant sur la zone de dépôt des verses de la zone puits sont collectées au sein d'un bassin qualitatif. Leur qualité diffère des eaux pluviales collectées par ailleurs sur le centre de stockage Cigéo, en raison de la nature du matériaux stocké (Callovo-Oxfordien) et par le déroulement des travaux sur la zone de dépôt. En effet, au démarrage de la construction initiale, les dépôts des verses sont non végétalisés, la végétalisation est ensuite progressive. Les eaux de ruissellement des verses font donc l'objet d'un mode de gestion spécifique, notamment en vue d'une réduction de leur teneur en sulfates, avant rejet régulé par des ouvrages de diffusion vers le milieu naturel. Ainsi, à partir de la phase de construction initiale, les eaux pluviales qui ruissellent sur les parties des verses en activité (non encore recouvertes) sont collectées puis transitent :

- par un fossé étanche qui les dirige vers le bassin qualitatif d'une capacité de stockage d'environ 10 000 m³ ;
- par un bassin qualitatif et des installations de traitements (décantation et nanofiltration avec un objectif de respect des critères du bon état chimique et du bon état écologique de l'eau rejetée) implantées dans un bâtiment d'une surface approximative de 400 m² et de 5 mètres de hauteur ;
- par un bassin quantitatif d'une capacité de stockage évolutive allant d'environ 47 000 m³ (Z1 verses) à environ 64 000 m³ (cumul Z1 et Z2 verses). La surface au sol globale de ces bassins est d'environ 28 000 m² (Z1 verses) à environ 45 000 m² (cumul Z1 et Z2 verses).

Les bassins de gestion des eaux des verses sont dimensionnés pour la pluie centennale.

Les eaux de ruissellement des verses ne sont pas comptabilisées dans les volumes à traiter par exutoire puisque toutes les dispositions ont été mises en place pour reproduire la situation actuelle. C'est-à-dire qu'au niveau de la qualité de l'eau, elle se rapprochera de celle du milieu récepteur (bon état écologique et chimique).

6.2.3.1.3 Les modalités de gestion des eaux usées d'origine sanitaire et des eaux industrielles de surface

Les eaux usées d'origine sanitaire et les eaux industrielles de surface sont collectées pour rejoindre les stations d'épuration respectives de la zone descenderie ou de la zone puits au sein desquelles elles sont traitées.

Les installations sont dimensionnées et équipées pour obtenir un rejet d'eau compatible avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles au sens de la directive cadre sur l'eau (DCE) (222). Les performances recherchées des stations d'épuration sont identiques pour la zone descenderie et la zone puits ; seuls les dimensionnements sont différents.

La qualité de l'eau en sortie de filière dépend de la destination et/ou de l'usage qui est envisagé pour ces eaux usées épurées. L'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif (229) fixe les niveaux minimaux de qualité de rejet des stations à respecter jusqu'au débit de référence de la station. Pour les stations

dont la capacité est comprise entre 20 EH et 2 000 EH (entre 1,2 kg/j et 120 kg/j de DBO5), l'arrêté impose les performances épuratoires minimales suivantes :

- DBO5 : 35 mg/l ou rendement minimum de 60 % ;
- DCO : 200 mg/l ou rendement minimum de 60 % ;
- MES : rendement minimum de 50 %.

Pour chaque zone il est prévu une station d'épuration pour le traitement des eaux usées de surface globale au sol d'environ 1 600 m² pour la zone descenderie et 800 m² pour la zone puits. Les stations d'épuration mises en place correspondent à une chaîne de traitement pour environ 1 700 équivalents habitants pour la zone descenderie et environ 675 équivalent-habitant pour la zone puits.

Au stade actuel des études de conception, la filière de traitement des eaux usées et des eaux industrielles de surface envisagée :

- peut s'adapter aux variations de charge ;
- a des performances épuratoires compatibles avec une réutilisation de l'eau traitée en tant qu'eau industrielle ;
- permet un rejet adapté aux spécificités locales des milieux récepteurs.

Elles sont composées d'installations de prétraitement (récupération mécanique des éléments les plus accessibles), d'installations de traitement biologiques (notamment par l'utilisation de disques biologiques, de système de clarification des eaux et de séchage des boues) ainsi que de systèmes de filtration (charbon actif et membranaire) avant désinfection.

Les traitements mis en œuvre permettent leur utilisation sous forme d'eau recyclée. Par conséquent, après traitement, ces eaux sont majoritairement stockées pour réutilisation interne au centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 6.1.2.1 du présent volume, relatif au dispositif de recyclage des eaux). L'excédent fait l'objet d'un rejet local régulé au milieu naturel après contrôle (respect des critères du bon état chimique et du bon état écologique de l'eau rejetée).

6.2.3.1.4 Les modalités de gestion des eaux d'exhaure et des eaux industrielles souterraines

Les eaux d'exhaure conventionnelles et les eaux industrielles générées dans l'installation souterraine sont collectées en fond ; elles constituent les eaux de fond. Elles sont remontées en surface de façon mutualisée pour y subir un traitement en zone descenderie ou en zone puits, selon la zone de collecte (cf. Localisation sur les figures suivantes).

Les traitements mis en œuvre permettent leur utilisation sous forme d'eau recyclée. Par conséquent, après traitement, ces eaux sont majoritairement stockées dans le réservoir des eaux issues du traitement des eaux usées pour réutilisation interne au centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 6.1.2.1 du présent volume, relatif au dispositif de recyclage des eaux). L'excédent fait l'objet d'un rejet local régulé au milieu naturel après contrôle (respect des critères du bon état chimique et du bon état écologique de l'eau rejetée).

6.2.3.1.5 Les modalités de gestion des effluents liquides non conventionnels

Dès le début du fonctionnement du centre de stockage Cigéo et l'arrivée des colis de déchets radioactifs, certains effluents liquides, de par leur provenance ou leur utilisation, sont susceptibles d'être contaminés par des substances radioactives. C'est le cas lorsqu'ils sont issus :

- en souterrain, des alvéoles des quartiers HA (eaux d'exhaure des alvéoles ayant été au contact des colis de déchets) ;
- en surface, des zones à production possible de déchets nucléaires, dites ZppDN (par exemple, liés aux condensats des unités intérieures de récupération d'énergie du bâtiment nucléaire de surface EP1), notamment s'ils sont issus d'opérations de décontamination ou s'ils sont associés à des contrôles radiologiques.

Ces effluents sont dénommés « effluents liquides non conventionnels ». Ils font l'objet d'une gestion distincte. Pour les zones concernées, les volumes d'effluents liquides non conventionnels sont faibles et l'activité associée à ces derniers est également très faible.

Les installations nucléaires de surface sont équipées d'un réseau de collecte des effluents liquides non conventionnels relié à des cuves spécifiques dédiées.

Dans la zone en exploitation de l'installation souterraine, les eaux d'exhaure arrivent par gravité en tête d'alvéole du quartier pilote HA et sont collectées dans des cuves de contrôle. Ces eaux sont ensuite dépotées au fond par un camion-citerne, remontées par la descenderie de service puis acheminées jusqu'au local dédié du bâtiment nucléaire de surface EP1.

À l'issue du remplissage des cuves de collecte présentes dans le bâtiment nucléaire de surface EP1, les effluents font l'objet d'une caractérisation radiologique afin notamment de définir précisément les conditions de leur transport et de leur traitement. Ils sont acheminés vers une installation externe adaptée."

6.2.3.1.6 Les modalités de gestion des excédents du dispositif de recyclage des eaux

Comme explicité au chapitre 6.1.2.1 du présent volume, les eaux recyclées peuvent être utilisées pendant trois jours. Passé le délai de trois jours, elles sont rejetées vers le milieu naturel en respectant le principe de non-aggravation des risques d'inondation en aval et avec un objectif de compatibilité avec les critères de bon état écologique et de bon état chimique du milieu naturel.

6.2.3.1.7 La synthèse de la gestion des émissions liquides sur le centre de stockage Cigéo

Les différentes émissions liquides conventionnelles du centre de stockage Cigéo bien que chargées de polluants de nature différente font toutes l'objet d'un traitement adapté à leur nature avant un réemploi pour les activités du centre de stockage Cigéo ne nécessitant pas une eau potable ou un rejet dans le milieu naturel local.

La majorité des dispositifs de gestion et de traitement des eaux sont mis en place dès la phase des aménagements préalables (stations d'épuration, réseaux d'eau pluviale, bassins qualitatifs et quantitatifs, etc.). Les dispositifs de gestion des eaux de fond seront mis en place lors de la construction initiale et évolueront en fonction du développement progressif de l'installation.

De manière générale, les ouvrages de traitement sont mis en œuvre suivant les spécifications d'obtention d'eaux rejetés respectant les critères de bon état chimique et de bon état écologique.

Les volumes d'eau rejetés dans l'Ormançon et la Bureau sont présentés dans le tableau 6-9 et le .

Tableau 6-9 Répartition des volumes d'eau rejetés dans l'Ormançon

Type d'eau	Phase	Rejets dans l'Ormançon (Zone Puits)		
		Volume maximum journalier rejeté (aucune réutilisation de l'eau)	Volume moyen journalier rejeté (volume moyen lors des différentes phases)	Volume minimal journalier rejeté (avec 100 % de recyclage)
Eaux usées et industrielles	Construction initiale	80 m³	53 m³	0 m³
	Fonctionnement	63 m³	34 m³	0 m³
Eau de fond	Construction initiale	185 m³	120 m³	0 m³
	Fonctionnement	159 m³	95 m³	0 m³

6.2.3.2 Les autres opérations

Les émissions liquides des opérations du projet global Cigéo d'adduction d'eau, de raccordement électrique, de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de déviation de la route départementale D60/960 sont minimes en

comparaison des émissions du centre de stockage. Elles ne sont pas de nature à modifier l'ordre de grandeur des précédentes estimations.

6.2.3.2.1 L'opération « alimentation électrique »

La réalisation d'un poste de transformation électrique 400/90 kV, de par sa nature même, implique des contraintes fortes dans la conception du dispositif d'assainissement du site pour éviter une accumulation d'eau dans une zone électrique (risque d'électrocution). Lors de son exploitation, le poste de transformation ne produit pas d'émission potentiellement polluante susceptible d'être lessivée par les eaux de pluie et susceptible de se retrouver dans les eaux superficielles, puis à terme dans les nappes d'eau souterraines. Il est donc communément admis que les eaux de pluie arrivent « propres » au niveau du sol et qu'elles peuvent être infiltrées. Le système définitif d'assainissement du poste avec drainage et infiltration des eaux pluviales est réalisé dans l'enceinte du poste, au plus près des surfaces imperméabilisées collectées. En aucun cas, les écoulements ne sont évacués vers les terrains jouxtant le poste. Ainsi, l'ensemble des eaux pluviales du poste de transformation 400/90 kV est infiltré soit par des tranchées drainantes, soit par des puits d'infiltration.

Pour les postes électriques de livraison 90 kV de RTE au niveau des zones descenderie et zone puits, postes accolés avec le poste de transformation 90/20 kV sous maitrise d'ouvrage Andra, les eaux pluviales sont reprises dans le dispositif d'assainissement de chacune des zones descenderie et puits précédemment présenté (fossé de collecte, bassin de stockage et de traitement avant rejet dans le milieu naturel), car inclus dans le périmètre de la future installation nucléaire de base (cf. Chapitre 6.2.3.1 du présent volume).

6.2.3.2.2 L'opération « adduction d'eau »

Un dispositif de gestion des eaux est prévu pour les éventuels bâtiments techniques associés à l'opération d'adduction d'eau.

6.2.3.2.3 L'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 »

La réfection du dispositif d'assainissement de la plateforme ferroviaire permet d'assumer les fonctionnalités suivantes :

- la collecte à l'amont de l'infrastructure des eaux des bassins versants amont, soit par des fossés dimensionnés pour les tronçons en déblai, soit par des buses dimensionnées pour les tronçons en remblai. Les eaux collectées sont évacuées vers le milieu naturel sans régulation, ni traitement ;
- la non accumulation d'eaux pluviales en fond de vallon amont par mise en place de fossés de drainage latéraux à l'ouvrage en déblai ;
- la non accumulation d'eaux pluviales au niveau des zones en déblais de la ligne ferroviaire par mise en place de buses sous ouvrage aux passages en remblai ;
- la collecte et l'évacuation des eaux pluviales grâce à des ouvrages dédiés (bassins…).

6.2.3.2.4 L'opération « déviation de la route départementale D60/960 »

La conception de la route départementale est réalisée selon les normes environnementales en vigueur. Les détails sur le dispositif d'assainissement seront présentés dans les versions actualisées de la présente étude d'impact en fonction de l'avancée de la conception de l'opération.

6.2.3.2.5 L'opération « expédition et transport des colis de déchets »

Une réhabilitation du dispositif actuel de gestion des eaux pluviales est prévue pour la plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château (en attente de la définition technique des futures installations/activités implantés sur la plateforme logistique), avant rejet dans le réseau d'eaux pluviales urbain.

La plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château comprend un dispositif d'assainissement des eaux usées (fosse de 6 m³) qui est conservé en l'état, mais qui pourra être adapté au cours du temps en fonction des besoins.

6.2.3.2.6 Les opérations de « caractérisation et surveillance environnementale »

Ces opérations seront à l'origine de rejets ponctuels et limités d'eau d'exhaure lors des travaux de réalisation des forages.

6.2.4 Les émissions dans le sol et le sous-sol

6.2.4.1 Le centre de stockage Cigéo

Aucune émission liquide dans le sol et le sous-sol n'est attendue en fonctionnement normal des installations, considérant notamment qu'aucune infiltration des eaux et aucun épandage de boues n'est effectué dans le cadre du projet. Les émissions atmosphériques n'engendrent pas de dépôt de susceptible de polluer le sol ou le sous-sol.

Les seules émissions potentielles à noter seraient liées à une pollution du sol en mode accidentel. Des mesures de prévention sont mises en œuvre notamment sur les chantiers et les zones de stockage de produits polluants pour éviter ce type d'émission, par exemple l'utilisation de cuves de rétentions, de cuves double enveloppe, de kits anti-pollution).

6.2.4.2 Les autres opérations

De dispositifs de gestion des eaux sont prévus pour les opérations de raccordement électrique, de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de déviation de la route départementale D60/960 de manière à éviter tout rejet potentiellement polluant dans le sol et le sous-sol.

6.2.5 Les émissions sonores

La caractérisation de ces sources sonores listées ci-après, ainsi que leur incidence sur l'environnement, est présentée dans le chapitre 13.1 du Volume IV de la présente étude d'impact.

6.2.5.1 Activités et installations sources de bruit

6.2.5.1.1 Le centre de stockage Cigéo

En phase d'aménagements préalables, les activités et installations sources de bruit sont :

- sur les zones puits (ZP) et descenderie (ZD) :
  - ✓ la circulation routière sur les zones (véhicules légers et poids-lourds) ;
  - ✓ les engins de chantier et de terrassement ;
  - ✓ l'émission de signaux sonores d'avertissement ;
  - ✓ les terrassements avec présence de la roche mère, qui nécessitent l'emploi d'explosifs ;
  - ✓ les terrassements associés à l'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine ;
  - ✓ les opérations de chargement/déchargement des matériaux ;
  - ✓ le fonctionnement d'ouvrages de surface, tels que les centrales à béton et à mortier et la centrale d'enrobage. ;
- au niveau de l'installation terminale embranchée (ITE), en construction au cours de cette phase :
  - ✓ les engins de chantier et de terrassement ;
  - ✓ les éventuels trains travaux nécessaires aux terrassements et à la construction de la plateforme ferroviaire ;
  - ✓ les trains travaux nécessaires à la mise en place des équipements de la voie (ballast traverses et rails) ;
- au niveau de la liaison intersites (LIS), en construction au cours de cette phase :
  - ✓ les engins de chantier et de terrassement.

En phase de construction initiale, les activités et installations sources de bruit sont :

- sur les zones puits (ZP) et descenderie (ZD) :
  - ✓ la circulation routière sur les zones (véhicules légers et poids-lourds) ;
  - ✓ les engins de chantier et de terrassement ;
  - ✓ le creusement des liaisons surface-fond (tours de chevalement des puits, tirs d'explosifs et tunneliers) ;
  - ✓ les activités de construction (marteau-piqueur, soudure, travail mécanique...) ;
  - ✓ les opérations de chargement/déchargement des matériaux ;
  - ✓ le trafic ferroviaire sur la zone descenderie (fret) ;
  - ✓ le fonctionnement d'ouvrages de surface tels que : les convoyeurs, le bâtiment de production des utilités, les centrales à béton et à mortier, la centrale d'enrobage, les usines de ventilation temporaires, les climatisations etc. ;
- au niveau de l'installation terminale embranchée (ITE), en exploitation au cours de cette phase :
  - ✓ la circulation de train de fret pour l'approvisionnement des chantiers de construction du centre de stockage ;
  - ✓ le déchargement des convois sur le terminal fret ;
- au niveau de la liaison intersites (LIS), en exploitation au cours de cette phase :
  - ✓ le fonctionnement du convoyeur semi-enterré (situé dans un coffrage en béton) ;
  - ✓ la circulation de poids-lourds et de véhicules légers sur les chaussées.

En phase de fonctionnement, les activités et installations sources de bruit sont :

- sur les zones puits (ZP) et descenderie (ZD) :
  - ✓ la circulation routière sur les zones (véhicules légers et poids-lourds) ;
  - ✓ le trafic ferroviaire sur la zone descenderie ;
  - ✓ les engins de chantier et de terrassement utilisés lors des jouvences[172] et sur la zone des verses ;
  - ✓ les activités de construction, rénovation, jouvence (marteau-piqueur, soudure, travail mécanique...) ;
  - ✓ les opérations de chargement/déchargement des matériaux ;
  - ✓ les chaudières mixtes biomasse-GPL (appoint), installées chacune dans un bâtiment chaufferie (une par zone) ;
  - ✓ le fonctionnement d'ouvrages de surface, tels que le bâtiment de production des utilités, la centrale à béton, les ventilations et les climatisations, les refroidisseurs d'air ;
- au niveau de l'installation terminale embranchée (ITE), en exploitation au cours de cette phase :
  - ✓ la circulation des convois d'acheminement des déchets radioactifs ;
  - ✓ le déchargement des convois sur le terminal ferroviaire nucléaire ;
- au niveau de la liaison intersites (LIS), en exploitation au cours de cette phase :
  - ✓ le fonctionnement du convoyeur semi-enterré (situé dans un coffrage en béton) ;
  - ✓ la circulation de poids-lourds et de véhicules légers sur les chaussées.

6.2.5.1.2 Les autres opérations

a) L'opération « alimentation électrique »

En phase d'aménagements préalables, les activités et installations sources de bruit sont les engins de chantier et de terrassement nécessaires à la construction/mise en place :

- du poste de transformation électrique 400/90 kV ;
- des lignes électriques souterraines 90 kV ;
- des lignes électriques aériennes 400 kV.

[172] Jouvence : phase de travaux permettant de remplacer un système ou un bâtiment dans son ensemble, parce que sa maintenance en est devenue extrêmement difficile.

Notons que les travaux envisagés pour le raccordement au poste ne sont pas de nature à modifier le niveau acoustique existant. De même, les travaux sur la ligne 400 kV Houdreville-Méry (sur une zone plus large) ne sont pas de nature à impacter l'ambiance sonore à proximité.

En phases de construction initiale et de fonctionnement, les activités et installations sources de bruit sont :

- au niveau du poste de transformation électrique 400/90 kV, en exploitation au cours de ces phases, le fonctionnement des transformateurs de type 400/90 kV (parties active et réfrigération) ;
- au niveau des liaisons électriques, en exploitation au cours de ces phases, les lignes électriques aériennes 400 kV (effet couronne[173], bruit éolien).

b) L'opération « adduction d'eau »

En phase d'aménagements préalables, les activités et installations sources de bruit sont les engins de chantier et de terrassement, ainsi que les signaux sonores d'avertissement associés émis lorsque nécessaire. Notons qu'il s'agira d'un chantier de faible ampleur.

En phases de construction initiale et de fonctionnement, les installations sont en fonctionnement et ne sont pas susceptibles d'être à l'origine d'émissions sonores (canalisations enterrées en exploitation).

c) L'opération « mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 »

En phase d'aménagements préalables, les activités et installations sources de bruit sont les engins de chantier et de terrassement, ainsi que les signaux sonores d'avertissement associés émis lorsque nécessaire.

En phases de construction initiale et de fonctionnement, les activités et installations sources de bruit sont la circulation de trains de fret pour l'approvisionnement des chantiers de construction du centre de stockage mais également des installations céréalières desservies. Le trafic est estimé à huit passages de trains par jour dont quatre pour le centre de stockage Cigéo (un aller-retour pour les déchets radioactifs et un aller-retour pour le transport de matériaux) et quatre passages pour des céréaliers. Très exceptionnellement, un train de colis de déchet pourrait être obligé de finir son trajet durant des horaires nocturnes

d) L'opération « déviation de la route départementale D60/960 »

En phase d'aménagements préalables, les activités et installations sources de bruit sont les engins de chantier et de terrassement, ainsi que les signaux sonores d'avertissement associés émis lorsque nécessaire.

En **phases de construction initiale et de fonctionnement**, les sources de bruit sont :

- le trafic induit par l'activité du centre de stockage Cigéo (acheminement des marchandises, des matériaux, circulation du personnel..., à l'origine d'un trafic supplémentaire sur les voies routières existantes) ;
- le trafic induit par les autres usagers utilisant cet axe de circulation.

e) L'opération « expédition et de transport de colis de déchets »

Les activités d'expédition et de transport des colis de déchets radioactifs depuis les sites des producteurs de déchets sont prévues depuis les installations existantes d'expédition et par utilisation des infrastructures de transports existantes. En **phases d'aménagements préalables et de construction initiale**, aucuns travaux n'étant prévu pour cette opération, elle n'est pas susceptible d'être à l'origine d'émissions sonores.

Le choix définitif des scénarios de transport de référence au départ des centres est en cours par les producteurs. Toutefois, en tout état de cause, **en phase de fonctionnement**, le trafic induit sur voie ferré et sur route sera faible et ne devrait pas avoir d'incidence acoustique.

[173] Effet couronne : petites décharges électriques qui naissent dans l'air sous l'action du champ électrique associé au câble aérien de la ligne HT. Ces micro-décharges peuvent s'accompagner d'un grésillement caractéristique.

6.2.5.2 Nuisances acoustiques

Les opérations du projet global Cigéo, et particulièrement le centre de stockage Cigéo sont sources de nuisances sonores.

6.2.5.2.1 Aménagements préalables

En phase d'aménagements préalables, les travaux de toutes les opérations démarrent. Aucun seuil réglementaire n'existe pour cette phase, néanmoins les nuisances acoustiques sont limitées autant que possible. Les principales sources de bruit sont les engins et véhicules de chantier pour les différentes opérations.

Les zones induisant les nuisances sonores les plus importantes sont les zones puits et descenderie du centre de stockage Cigéo, en raison de la durée et de l'ampleur des travaux. La zone puits étant éloignée des habitations, c'est la zone descenderie qui est susceptible d'impacter le plus les zones habitées à proximité (Bure et Saudron). De plus, les nuisances sonores induites par la zone descenderie se cumulent à celles induites par le poste de transformation 400/90 kV, la déviation de la route départementale D60/960 et la circulation routière pour Bure, Saudron, Hôtel du Bindeuil, Mandres-en-Barrois.

Pour les autres opérations du projet global (l'alimentation électrique, la déviation de la route départementale D60/960, la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et l'adduction d'eau), le nombre d'engins de chantier est bien moindre et sur des durées beaucoup plus courtes (durées de travaux envisagées sont comprises entre 1 et 3 ans). Seulement quelques engins sont utilisés de manière concomitante sur ces chantiers. Ils se déplacent sur le linéaire en travaux au fur et à mesure de l'avancement de chacun des chantiers spécifiques à ces installations.

Différentes mesures de réduction des nuisances sonores sont mises en place : organisation du chantier, utilisation d'avertisseurs sonores de type « cri du lynx », utilisation d'engins de chantier moins bruyants, protection acoustique du poste de transformation 400/90 kV, pas de travaux de nuit (22 h – 6 h), limitation sonore de certaines zones de chantier, convoyeur semi-enterré sur la liaison intersites. Par ailleurs, un merlon est mis en place en aménagements préalables en limite de site, à l'est de Saudron et un écran anti-bruit du côté de l'hôtel du Bindeuil.

Après mise en œuvre de ces mesures, les niveaux de bruit attendus durant cette phase restent dans des niveaux de bruit ambiant, mais plus élevé qu'à l'état actuel.

6.2.5.2.2 Construction initiale

En phase de construction initiale, la liaison intersites, l'ITE, la ligne ferroviaire 027000, la route départementale D60/960 et les opérations d'alimentation électrique, dont le poste de transformation 400/90 kV, sont en fonctionnement. Leurs niveaux sonores sont inférieurs aux seuils réglementaires.

La ligne électrique Houdreville/Méry ne génère pas de nuisances sonores supplémentaires par rapport à l'état initial. Le trafic pour le transport de fret est faible sur le réseau ferré national, ainsi l'incidence acoustique de cette opération est faible.

Les travaux sur la zone puits et la zone descenderie sont toujours les sources prépondérantes de nuisances sonores.

Différentes mesures de réduction des nuisances sonores, déjà mises en œuvre en phase d'aménagements préalables, sont maintenues.

Après mise en œuvre des mesures de réduction, les niveaux sonores en phase de construction initiale sont inférieurs aux seuils réglementaires, mais plus élevés qu'à l'état actuel.

6.2.5.2.3 Fonctionnement

En phase de fonctionnement, toutes les opérations du projet global sont en fonctionnement. Les principales sources sonores sont liées au fonctionnement des zones descenderie et puits et du poste de transformation 400/90 kV.

Différentes mesures de réduction des nuisances sonores sont mises en place : installation de silencieux sur les usines de ventilation et mur anti-bruit.

Après mise en œuvre de ces mesures, les niveaux sonores en fonctionnement des zones à émergence réglementées sont inférieurs aux seuils réglementaires, plus élevés qu'à l'état initial, mais inférieures aux phases d'aménagements préalables et de construction initiale.

6.2.6 Les émissions vibratoires

En phase d'aménagements préalables, toutes les opérations sont en construction.

Les zones induisant les vibrations les plus importantes sont les zones puits et descenderie du centre de stockage Cigéo, en raison de la durée et de l'ampleur des travaux. Les principales sources de vibrations sont l'utilisation d'engins de chantier et les tirs de mines.

Pour les autres opérations du projet global (l'alimentation électrique, la déviation de la route départementale D60/960, la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et l'adduction d'eau), le nombre d'engins de chantier est bien moindre et sur des durées beaucoup plus courtes (durées de travaux envisagées sont comprises entre 1 et 3 ans). Seulement quelques engins sont utilisés de manière concomitante sur ces chantiers. Ils se déplacent, ainsi que les trains travaux pour l'installation terminale embranchée et la ligne ferroviaire 027000, sur le linéaire en travaux au fur et à mesure de l'avancement de chacun des chantiers spécifiques à ces installations.

En phase de construction initiale, la liaison intersites, l'installation terminale embranchée, la ligne ferroviaire 027000, la route départementale D60/960, les opérations d'alimentation électrique et l'adduction d'eau sont en fonctionnement. Les opérations d'alimentation électrique et d'adduction d'eau n'émettent pas de vibration.

Durant ces phases, les vibrations des différentes opérations n'engendrent pas de dommages aux structures bâties. Les vibrations liées à l'utilisation d'engins de chantier et aux tirs de mines sont perceptibles pour les bâtiments les plus proches de la zone descenderie (hôtel du Bindeuil, archives EDF, Ferme du Cité, bâtiments de Andra) ; la zone puits étant plus éloignée des zones d'habitation.

L'installation souterraine étant située à environ 500 mètres de profondeur, aucune vibration liée aux machines de creusement n'est ressentie en surface.

Par ailleurs, des structures bâties sont présentes à moins de 100 mètres de la ligne ferroviaire 027000 et sont donc susceptibles de percevoir des vibrations. Elles seront listées dans les études d'impact ultérieures.

Différentes mesures de réduction des vibrations sont mises en place : limitation de vitesse à 20 km/h sur les voiries, limitation de la vitesse de circulation des trains, engins non mobiles isolés du sol et équipés de dispositifs d'absorption des chocs et vibrations, adaptation des tirs de mines.

La poursuite de l'optimisation des mesures de réduction vis-à-vis des vibrations (optimisation de conception, optimisation des travaux, etc.) sera maintenue lors des phases de conception ultérieures afin de diminuer les vibrations pour les riverains. Ces optimisations seront présentées dans les actualisations successives de la présente étude d'impact du projet global Cigéo.

En phase de fonctionnement, toutes les opérations du projet global Cigéo sont en fonctionnement. Les principales sources de vibrations sont toujours : l'utilisation d'engins de chantier (mais dans une proportion bien moindre que les phases précédentes), la circulation ferroviaire et sur les voiries, ainsi que certains équipements nécessaires au fonctionnement du centre de stockage Cigéo (ventilateurs, différentes pompes). Les mesures de réduction sont donc les mêmes que pour les phases précédentes, auxquelles s'ajoutent notamment l'isolement du sol des équipements et la mise en place de dispositifs d'absorption des chocs. Durant cette phase, les vibrations des différentes opérations n'engendrent pas de dommage aux structures bâties. Elles sont très faiblement ressenties par les habitations les plus proches de la zone descenderie.

Un suivi des vibrations est réalisé pendant les phases d'aménagements préalables et de construction initiale. Par ailleurs, des mesures de suivi au niveau des habitations les plus proches des voies ferrées sont mises en œuvre après la mise en service des installations, en phases de construction initiale et de fonctionnement.

Le trafic ferroviaire et routier pour le transport de colis de déchets radioactifs est faible sur le réseau national, ainsi l'incidence vibratoire de l'opération de transport des colis est faible.

6.2.7 Les émissions lumineuses

Le projet global Cigéo et essentiellement le centre de stockage Cigéo, est à l'origine d'émissions lumineuses lors des phases d'aménagements préalables, mais surtout de construction initiale et de fonctionnement.

La phase d'aménagements préalables est à l'origine d'émissions lumineuses temporaires essentiellement dues aux éclairages de chantier et de sécurité et aux phares des engins, que ce soit pour le centre de stockage Cigéo ou les autres opérations du projet global. Concernant les opérations des autres maîtres d'ouvrage, le nombre d'engins de chantier est néanmoins bien moindre qu'en zone puits et descenderie et sur des durées beaucoup plus courtes (de 1 à 3 ans). Les engins se déplacent sur le linéaire en travaux au fur et à mesure de l'avancement de chacun des chantiers spécifiques à ces opérations.

En phase de construction initiale et en phase de fonctionnement, l'éclairage des zones puits et descenderie, est à l'origine d'une modification significative du contexte lumineux de ce territoire rural, qui s'ajoute, pour la zone descenderie, aux émissions lumineuses actuelles du centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne. Les autres opérations du projet global n'engendrent pas d'émissions lumineuses.

Pour l'ensemble des phases, aucuns travaux n'ont lieu la nuit (22 h - 6 h) en surface. Certaines sources lumineuses sont néanmoins maintenues pour des raisons de sécurité ou de protection. L'Andra met en œuvre un éclairage adapté aux besoins et écologiquement responsable afin de réduire au maximum ces émissions. Concernant les opérations des autres maîtres d'ouvrages, les éclairages de chantier sont limités au strict nécessaire et adaptés aux travaux à réaliser. Par ailleurs, les mesures d'évitement et d'insertion paysagères (maintien de bandes boisées, travail des nivellements, mise en place d'un merlon haut végétalisé, plantation de bosquets ou de masques boisés sur la zone descenderie, ou encore plantation de bosquets sur la zone puits) permettent de réduire les incidences lumineuses sur les riverains. Néanmoins, s'agissant des plantations, elles ne seront matures qu'en phase de fonctionnement.

6.2.8 Les émissions olfactives

Le projet global Cigéo est à l'origine d'émissions d'odeurs, liées majoritairement aux émissions atmosphériques des engins de chantier et des véhicules, à l'utilisation de produits chimiques, à la présence potentielle de déchets putrescibles issus notamment des zones de restauration, au fonctionnement des restaurants et à la stagnation d'eaux pluviales ou usées dans les bassins.

L'entretien réguliers des engins et véhicules, le dimensionnement suffisant des ouvrages de gestion des eaux, l'évacuation régulière des déchets putrescibles, etc. permettent de limiter ces odeurs qui ne seront pas perceptibles par les riverains.

En phases

6.2.9 Les rayonnements ionisants

En phase de fonctionnement, les niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants liés à la présence de déchets radioactifs et au fonctionnement des installations du centre de stockage sont extrêmement faibles, voire nuls, et sans incidence sur la santé et l'environnement. En effet, plusieurs écrans isolent en permanence les déchets radioactifs de leur environnement et atténuent très fortement les rayonnements des éléments radioactifs (conteneurs dans lesquels sont placés les déchets par les producteurs, emballages dédiés à leur transport jusqu'au centre de stockage Cigéo, génie civil cellules blindées et parois) du bâtiment de surface, hotte pour leur acheminement vers les ouvrages souterrains de stockage…).

Pour pouvoir être transportés sur la voie publique, les déchets radioactifs sont conditionnés (déchets solidifiés et éventuellement immobilisés sous une forme non dispersable) et placés dans un conteneur, puis disposés dans un emballage de transport, adapté à leur dangerosité et à leurs conditions de transport. Pour le projet global Cigéo, le transport ferroviaire est le moyen d'acheminement privilégié.

La réglementation de transport de substances radioactives par voie publique impose que :

- le débit d' équivalence de dose maximal reste inférieur à :
  - ✓ 2 $mSv.h^{-1}$ en tout point des surfaces extérieures du véhicule ;
  - ✓ 0,1 $mSv.h^{-1}$ à une distance de 2 mètres des surfaces latérales externes du véhicule ;
- la contamination labile des surfaces accessibles de l'emballage de transport et du moyen de transport n'excèdent pas 4 $Bq.cm^{-2}$ pour les émetteurs bêta et gamma et les émetteurs alpha de faible toxicité et 0,4 $Bq.cm^{-2}$ pour les autres émetteurs alpha.

Le blindage des emballages de transport assure la protection contre les rayonnements ionisants d'une part et la résistance aux conséquences d'un accident (tels qu'une chute ou un incendie) d'autre part. À titre d'illustration, les déchets radioactifs de haute activité (HA) sont transportés dans des emballages en acier forgé dont la masse est de l'ordre d'une centaine de tonne.

Au démarrage du fonctionnement du centre de stockage Cigéo, le flux de convois de déchets radioactifs acheminés par voie ferroviaire est estimé à environ huit trains par an, puis, il s'intensifierait pour atteindre environ 80 trains par an, soit une moyenne d'environ six trains par mois, chaque train convoyant en moyenne dix wagons de transport.

Les limites réglementaires relatives au débit d'équivalent de dose précitées permettent, pour un individu situé pendant une dizaine de minutes à une distance de deux mètres d'un wagon immobile chargé d'un emballage de transport de déchets radioactifs, de limiter la dose équivalente qu'il reçoit à environ 0,02 mSv(de l'ordre de 80 km/h sur le réseau national, puis respectivement de l'ordre de 40 et 30 km/h sur la ligne ferroviaire 027000 et sur l'installation terminale embranchée).

S'agissant des limites maximales de contamination imposées par la réglementation, il convient de noter, d'une part que ces limites s'avèrent particulièrement basses, d'autre part que les emballages de transport sont recouverts de canopy (transport sur wagon) ou de bâches (transport par route) ce qui contribue à limiter une éventuelle dissémination de radionucléides.

De plus, l'installation terminale embranchée du projet global Cigéo est une infrastructure privée ce qui réduit le nombre de promeneurs aux alentours, le site n'étant pas attractif. Par ailleurs, le chemin longeant la voie n'est pas ouvert à la circulation des autres usagers. La largeur totale de la voie et du chemin s'élève à environ 9 mètres.

Compte tenu de ces éléments, l'exposition aux convois de transport est extrêmement faible et limitée dans le temps.

6.2.10 Champs électriques et magnétiques

L'installation terminale embranchée et la ligne ferroviaire 027000 ne sont pas électrifiées. L'adduction d'eau et la déviation de la route départementale D60/960 ne génèrent pas de champs électromagnétiques.

Les installations électriques du projet global Cigéo émettent des champs électriques et magnétiques.

Les travaux de sécurisation de la ligne haute tension 400 kV d'Houdreville-Méry ne modifient pas la puissance de son champ électromagnétique. Ils n'entrainent donc pas de champs électromagnétiques supplémentaires par rapport à la ligne actuelle. Les lignes très haute-tension présentent une valeur de champ magnétique de 0,16 micro Tesla à environ 100 mètres de l'axe de la ligne. Ce sont les ouvrages de distribution d'électricité qui présentent les champs les plus forts. Ainsi cette valeur est plus faible à proximité d'un transformateur et encore plus à proximité d'une liaison électrique enterrée. Les champs magnétiques s'atténuent rapidement avec la distance.

Le choix initial d'implanter le poste de transformation 400/90 kV à proximité immédiate de la ligne 400 kV Houdreville-Méry permet d'éviter l'installation d'un long linéaire de ligne électrique aérienne 400 kV, et donc de réduire les champs électromagnétiques. Les champs électriques et magnétiques générés par les deux nouvelles portions de liaisons de 400 kV nécessaires pour le raccordement au poste de transformation 400/90 kV sont semblables à ceux générés par le tronçon actuel de la liaison Houdreville-Méry. Les ouvrages électriques de surface (poste de transformation, de livraison, lignes électriques aériennes) ont été positionnés de façon à être éloignés des zones d'habitation, évitant ainsi l'exposition des populations.

Les ouvrages sont conçus et exploités conformément à la réglementation. La présence d'un écran métallique coaxial extérieur relié à la terre sur les liaisons souterraines 90 kV permet de réduire significativement les champs électriques et magnétiques.

Des mesures de suivi (mesures directes et indépendantes des champs électriques et magnétiques) sont prévues par RTE dans le cadre d'un plan de contrôle et de surveillance pour vérifier que les valeurs limites d'émission sont

respectées dans toutes les zones susceptibles d'exposer de façon continue des personnes à un champ électromagnétique. Par ailleurs, en cas de mise en évidence de tensions parasites sur des installations tierces, des études spécifiques sont réalisées et des dispositions techniques sont mises en œuvre afin de supprimer ou limiter ces tensions.

Compte tenu de la profondeur de 500 mètres de l'installation fond du centre de stockage Cigéo et des sources de courant utilisées, le champ magnétique généré en surface est de fait très faible, et ce en regard notamment du champ magnétique naturel ou celui généré par des sources de courant en surface.

6.2.11 Les déchets

6.2.11.1 Le centre de stockage Cigéo

En ce qui concerne les colis de déchets HA et MA-VL reçus sur le centre de stockage Cigéo :

- les déchets et volumes attendus sont présentés au chapitre 1.3.4 du présent volume et suivants ;
- le plan national de gestion des déchets (PNGD) et le plan national de gestion des matières et des déchet radioactifs (PNGMDR) sont présentés dans le chapitre 10 du volume III de la présente étude d'impact et la compatibilité du projet avec ces derniers est évaluée dans le chapitre 10 du volume IV de l'étude d'impact.

Seuls les déchets générés par la construction et l'exploitation du centre de stockage Cigéo sont présentés ci-après.

6.2.11.1.1 Les déchets conventionnels

La phase d'aménagements préalables est celle qui produit le moins de déchets, avec une quantité estimée à de l'ordre de quelques centaines de tonnes, réparties sur cinq années. Les principaux déchets produits sont des huiles en lien avec l'important parc d'engins en activité, et des déchets non dangereux en mélange (papiers et cartons, déchets organiques...).

La phase de construction initiale est celle qui produit la majeure partie des déchets conventionnels du centre de stockage Cigéo. La quantité est estimée à environ 250 000 tonnes réparties sur 10 ans à ce stade des études, avec des pics certaines années.

Les principaux déchets conventionnels induits lors de cette phase sont :

- les déchets inertes représentent environ 90 % de ces déchets conventionnels (déchets de béton, dépose des voussoirs liés à la création de carrures (intersections entre deux galeries) lors du creusement du souterrain) ;
- les autres déchets de chantier, représentent environ 10 % de ces déchets, dont des déchets non dangereux et, pour une faible part, des déchets dangereux. Ces déchets ne sont pas quantifiés à ce stade des études.

La première phase de défrichement devrait engendrer de 20 000 m³ à 25 000 m³ de déchets de bois.

En phase de fonctionnement :

- le volume des verses dites « mortes », correspondant à l'argilite du Callovo-Oxfordien excavée lors des travaux de creusement non réutilisée pour l'obturation des galeries de stockage des déchets à l'issue de la phase de fonctionnement, est estimé à 60 % du volume total des verses (11 millions de m³ d'après chapitre 6.2.1.1 du présent volume), soit un volume total de l'ordre de 6,6 millions de m³ pour l'ensemble de la phase ;
- les autres déchets générés lors de cette phase sont majoritairement des déchets inertes. Ils proviennent principalement de la dépose des voussoirs liés à la création de carrures (intersections entre deux galeries) lors du déploiement des ouvrages souterrains.

En phase de fonctionnement, la production des différents types de déchets (hors déchets de jouvence et hors verses) est de l'ordre de 5 100 tonnes par an. Les estimations préliminaires de déchets sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 6-10 Estimation annuelle des déchets induits conventionnels - Phase fonctionnement – exploitation courante (hors jouvence et hors verses) en moyenne annuelle

Catégories	Type de déchets	Estimation en tonnes (moyenne annuelle)
Déchets inertes	Bétons, ciments, matériaux inertes divers	3 500
Déchets non dangereux	Bois	110
	Papier/Carton	170
	Métaux	700
	Autres déchets (plastiques, plâtre...)	240
	Bio déchets (déchets verts, déchets de restauration)	120
Déchets dangereux	Tous déchets dangereux y compris déchets de soins et DEEE	240
	Total	**Environ** 5 080 t/an

Les opérations de jouvence pourront entraîner une augmentation temporaire des quantités de déchets, qu'il n'est pas possible d'estimer à ce stade des études.

Pour toutes les phases du projet, des règles de tri, selon la nature des déchets, sont établies. Des bennes de tri sont installées en fonction des besoins.

La priorité pour la gestion des déchets est la valorisation et le réemploi en prenant en compte l'évolution des filières et des technologies, tout particulièrement pour les déchets induits par les opérations de construction (bâtiments - travaux publiques) du projet. S'ils ne peuvent être réutilisés sur site, les déchets sont envoyés vers des filières agréées de gestion des déchets, avec une priorité aux filières locales.

6.2.11.1.2 Les déchets radioactifs

Pendant la phase de fonctionnement, le centre de stockage Cigéo reçoit des déchets HA et MA-VL et est à l'origine de la production de déchets radioactifs induits en lien avec les activités nucléaires de l'installation et les différents contrôles associés.

Nature des déchets induits radioactifs

La production des déchets radioactifs est liée à l'exploitation et à la maintenance de l'installation souterraine de stockage de déchets radioactifs HA et MA-VL ainsi que des installations nucléaires de surface.

Certaines activités de l'INB Cigéo sont à l'origine de la production de déchets radioactifs induits. Il s'agit toutefois de déchets de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité (FMA). Aucun déchets radioactifs induits de type HA et MA-VL n'est généré sur le site.

Les grands types de déchets radioactifs induits par le fonctionnement (y compris par les opérations de maintenance) du centre de stockage Cigéo correspondent à :

- des déchets technologiques, très faiblement radioactifs (catégorie TFA) : consommables (vinyle, gants, tenues d'intervention...), outillages, pots décanteurs d'aspirateur de nettoyage, frottis de contrôle sur emballage... ;
- des déchets de procédé de très faible et faible et moyenne activité (catégories TFA et FMA) en particulier les filtres de ventilation (catégorie FMA) ;
- des déchets issus de matériaux ou matériels contaminés lors d'opérations de contrôles ou de maintenance dans les zones nucléaires (gravats, déchets métalliques), présentant de très faibles activités (catégorie TFA) ;

- des déchets issus des conteneurs de stockage avec des défauts de fabrication susceptibles de présenter de très faibles activités (catégorie TFA) ;

des effluents liquides non conventionnels : (cf. Chapitre 6.2.3.1.5 de la présente étude d'impact). Ces effluents font l'objet d'une gestion distincte. Pour les zones concernées, les volumes d'effluents liquides non conventionnels sont faibles et l'activité associée à ces derniers est également très faible.

Estimations des quantités de déchets radioactifs générés

Les déchets radioactifs sont produits dans les zones dites « zones à production possible de déchets nucléaires ».

Le tableau suivant présente une première estimation des quantités moyennes annuelles de déchets radioactifs issus des opérations de fonctionnement y compris maintenance (mais hors période de jouvence). Les conceptions des colis (qui assurent le confinement de la radioactivité) et des installations (sectorisation des zones nucléaires) permettent une production réduite de déchets radioactifs par le centre de stockage Cigéo.

Les quantités d'effluents liquides non conventionnels annuels estimées de manière enveloppe pendant l'exploitation dite phase 1 (jusqu'à l'horizon 2080) sont les suivantes :

- pour le bâtiment nucléaire de surface EP1 :
  - ✓ condensation au niveau des unités intérieures de récupération d'énergie : 30 m³ ;
  - ✓ saut de zone[174] : 0,5 m³ ;
  - ✓ déchets liquides (issus de la cellule de contrôle hors flux de dégazage) : 0,01 m³ ;
  - ✓ effluents issus du local de fermeture des colis de stockage MA-VL (cas du clavage) : 2,5 m³ ;
- pour l'installation souterraine :
  - ✓ eaux d'exhaure des alvéoles du quartier pilote HA : 55 m³.

Le volume total, ainsi estimé de façon très conservative, représente un volume annuel maximum d'effluents liquides non conventionnels, produits au cours des premières décennies de fonctionnement de l'INB jusqu'à l'horizon 2080, de l'ordre de 90 m³/an (soit de l'ordre de 90 t/an). Cette quantité d'effluents est compatible avec un transport et une gestion externalisée dans une station de traitement d'effluents liquides radioactifs externalisée.

L'activité maximale[175] de ces effluents liquides non conventionnels, calculée de façon enveloppe, est de l'ordre de 10 Bq/L en alpha global et 100 Bq/L en bêta global.

Ces quantités et niveaux de radioactivité ont été évalués sur des hypothèses très conservatives, très au-dessus des effluents réellement attendus. Les valeurs données sont volontairement enveloppées.

Cette quantité d'effluents liquides non conventionnels est compatible avec un transport et une gestion externalisée.

Les quantités de déchets radioactifs induits solides (TFA et FMA) annuelles estimées sont inférieures à 41 tonnes.

Tableau 6-11 Estimation des déchets radioactifs induits lors du fonctionnement en moyenne annuelle (hors période de jouvence)

Activité	Type de déchets	Estimation (moyenne annuelle)
Fonctionnement	Déchets solides très faible activité (TFA)	<40 tonnes
	Déchets solides faible ou moyenne activité (FMA)	<1 tonne
	Effluents liquides non conventionnels	90 tonnes

[174] En zone contrôlée, un saut de zone est un local de transit des personnels aménagé entre une zone potentiellement contaminée et une zone propre. Ce local permet de vérifier l'absence de contamination des personnels sortant avant de regagner les vestiaires propres. Un saut de zone est généralement équipé, entre autres, d'un lave-main et d'une douche en cas de contrôle positif des poignets et/ou des mains d'une personne.

Lors de la phase d'exploitation de fonctionnement, les opérations de jouvence pourront entraîner une augmentation temporaire des quantités de déchets, qu'il n'est pas possible d'estimer à ce stade des études.

6.2.11.2 Les autres opérations

Les autres opérations du projet global Cigéo produisent des déchets conventionnels, mais en quantité plus faible par rapport au centre de stockage Cigéo. Il s'agit en majorité de déchets inertes.

Les autres opérations du projet global Cigéo ne sont pas susceptibles d'être à l'origine de génération de déchets radioactifs.

[175] D'après des calculs enveloppes basés sur la contamination surfacique maximale des colis de stockage au contact des eaux d'exhaure.

Synthèse – Émissions et résidus attendus

- **Terres et matériaux excavés**

  Environ 12,5 millions de mètres cubes de déblais sont générés pendant les phases d'aménagements préalables, de construction initiale et de fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Pour ne pas avoir recours à l'importation de terres extérieures, la composition spatiale du centre de stockage prend en compte le relief existant et une réutilisation maximale des terres excavées.

  Les volumes de Callovo-Oxfordien extraits lors du creusement de l'installation souterraine représenteront un volume de l'ordre de 11 millions de mètres cubes produits sur plus de 100 ans. 40 % environ seront réutilisés pour le remblayage de l'installation souterraine lors de sa fermeture définitive. Des solutions de réemploi sont recherchées pour les 60 % restants.

- **Émissions atmosphériques**

  Les émissions atmosphériques en phase d'aménagement préalables seront principalement induites par les opérations de terrassements effectuées sur le centre de stockage Cigéo. Les polluants émis seront des poussières et des gaz de combustion (dioxyde d'azote, monoxyde de carbone hydrocarbures, notamment composés organiques volatiles…

  En phase de construction initiale, les terrassements sont terminés pour la plupart, les émissions seront alors principalement liées au trafic, à la ventilation des liaisons surface fond en cours de réalisation.

  En phase de fonctionnement, les sources d'émissions principales sont le trafic extérieur (Lis et hors site) et les émissions issues des installations de surface et de l'installation souterraine, y compris des radionucléides (tritium, carbone 14 et krypton 85) sous forme gazeuse ou particulaire. Ces rejets sont très faibles et leur incidence sur l'environnement et la santé humaine sont imperceptibles au regard de l'exposition moyenne annuelle à la radioactivité naturelle en France.

- **Émissions liquides**

  Les effluents liquides conventionnels sont produits majoritairement par le centre de stockage Cigéo au sein du projet global Cigéo. Les besoins en eau potable en phase d'aménagements préalables et les effluents liquides produits par les autres opérations du projet global Cigéo sont insignifiants en volume par rapport à ceux émis par le centre de stockage Cigéo.

  Le centre de stockage Cigéo met en place dès la phase de construction initiale un traitement adapté à la nature des eaux considérées (eaux usées et des eaux industrielles de surface et en fond), puis leur recyclage Ceci permet à la fois de réduire les consommations en eau potable du centre de stockage Cigéo et d'autre part d'assurer les besoins en eau non potable pour certains usages du centre de stockage (irrigation, lavage engin, utilisation tunnelier…). Le surplus est restitué au milieu naturel par l'intermédiaire de bassins quantitatifs qui assurent la régulation des débits rejetés de manière à assurer la non-aggravation des risques d'inondation en aval).

  Le centre de stockage Cigéo est conçu pour ne rejeter aucun effluent liquides non conventionnels, c'est-à-dire qu'aucune eau produite dans certaines zones de l'installation nucléaire dites « zones à production possible de déchets nucléaires » n'est rejetée.

- **Émissions dans le sol et le sous-sol**

  Aucune émission liquide dans le sol et le sous-sol n'est attendue en fonctionnement normal des installations, considérant notamment qu'aucune infiltration des eaux et aucun épandage de boues n'est effectué dans le cadre du projet. Les émissions atmosphériques n'engendrent pas de dépôt de susceptible de polluer le sol ou le sous-sol. Les seules émissions potentielles seraient liées à une pollution du sol en mode accidentel. Des mesures de prévention sont mises en œuvre notamment sur les chantiers et les zones de stockage de produits polluants pour éviter ce type d'émission par exemple l'utilisation de cuves de rétentions, des cuves double enveloppe, des kits anti-pollution).

- **Émissions pouvant affecter le cadre de vie**

  Le centre de stockage Cigéo et, dans une moindre mesure, les opérations des autres maîtres d'ouvrage sont à l'origine d'émissions de bruit, de vibrations, d'odeurs, de lumière et de champs électriques et électromagnétiques. Ces émissions sonores et les vibrations sont prépondérantes en phase de construction et notamment de construction initiale. Les émissions lumineuses sont moindres en phase d'aménagements préalables par rapport aux autres phases. Seules les émissions sonores et lumineuses sont perçues par les riverains. Les émissions sonores sont conformes aux seuils réglementaires pour les différentes opérations du projet global Cigéo.

  Les ouvrages d'alimentation électrique sont conçus et exploités conformément à la réglementation. La présence d'un écran métallique coaxial extérieur relié à la terre sur les liaisons souterraines 90 kV permet de réduire significativement les champs électriques et magnétiques. Compte tenu de la profondeur de 500 mètres de l'installation fond du centre de stockage Cigéo et des sources de courant utilisées, le champ magnétique généré en surface est de fait très faible, et ce en regard notamment du champ magnétique naturel ou celui généré par des sources de courant en surface.

- **Rayonnements ionisants**

  Pour pouvoir être transportés sur la voie publique, les déchets radioactifs sont conditionnés (déchets solidifiés et éventuellement immobilisés sous une forme non dispersable) et placés dans un conteneur, puis disposés dans un emballage de transport, adapté à leur dangerosité et à leurs conditions de transport. Pour le projet global Cigéo, le transport ferroviaire est le moyen d'acheminement privilégié.

  Compte tenu de la réglementation de transport de substances radioactives par voie publique, d'une fréquence moyenne d'environ six trains par mois, chaque train convoyant en moyenne sept emballages de transport l'exposition aux convois de transport est extrêmement faible et limitée dans le temps.

  Lorsqu'un individu est situé à une distance de deux mètres du passage d'un train de sept wagons chargés d'emballages de transport de déchets radioactifs à des vitesses de 30 ou 40 km/h, la dose équivalente reçue n'est plus que de 0,0002 mSv.

- **Déchets**

  La quantité estimée de **déchets conventionnels** est de l'ordre de quelques centaines de tonnes en aménagements préalables et 250 000 tonnes en construction initiale. La première phase de défrichement devrait engendrer de 20 000 m3 à 25 000 m3 de déchets de bois. La quantité produite pendant la phase de fonctionnement est moindre. En phase de fonctionnement, la production des différents types de déchets (hors déchets de jouvence et hors verses) est de l'ordre de 5 100 tonnes par an. Il s'agit essentiellement de déchets et dans une moindre mesure de déchets non dangereux et dangereux. La priorité est donnée à la valorisation et les filières locales de gestion des déchets sont privilégiées.

  Des **déchets radioactifs induits** sont produits lors de la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Il s'agit de déchets de très faible activité ou de faible et moyenne activité qui sont envoyés vers des filières autorisées, dont les quantités ont été estimées au maximum à 41 tonnes par an de déchets solides très faible activité et 90 tonnes par an d'effluents liquides non conventionnels.

TABLEAU DE TRAÇABILITE DES PRINCIPALES EVOLUTIONS DE FOND DE L'ETUDE D'IMPACT

Chapitre EI DAC		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume II de l'EI-DAC
	Général			x		Actualisation réglementaire avec le décret n° 2021-837 du 29 juin 2021 portant diverses réformes en matière d'évaluation environnementale et de participation du public dans le domaine de l'environnement (remplacement du terme "état actuel" par "état initial") (230)
	Préambule	x				Actualisation du tableau des volumes de l'étude d'impact Précisions apportées dans la rédaction du bloc « Étude d'impact et projet global Cigéo »
1.2	**Les déchets radioactifs**	x				Actualisation des données relatives aux déchets radioactifs sur la base de l'Inventaire national à fin 2020
1.2.1	**Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ?**	x			x	Précisions apportées sur les termes "déchets radioactifs" et "matières radioactives" en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP
1.3.2	**La gestion actuelle des déchets HA et MA-VL en France**	x				Précisions apportées sur les installations d'entreposage de surface et sub-surface et la nécessité d'un stockage définitif en aval
1.3.3	**La dangerosité des déchets HA et MA-VL**	x			x	Précisions apportées sur la décroissance radioactive des radionucléides des déchets HA et MA-VL en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP Précisions apportées sur la dangerosité des déchets HA et MA-VL et le caractère non pérenne sur le très long terme d'un entreposage en surface ou sub-surface
1.3.4.2	**L'inventaire de référence retenu pour la conception du centre de stockage Cigéo**	x			x	Précisions apportées sur le périmètre de l'inventaire de référence retenu pour la conception du centre de stockage Cigéo, en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP Actualisation de l'estimation du volume de colis primaires de déchets HA et MA-VL destinés au centre de stockage Cigéo sur la base de l'Inventaire national à fin 2020
1.3.4.3	**L'inventaire de réserve et l'adaptabilité du centre de stockage Cigéo**	x			x	Précisions apportées sur le périmètre de l'inventaire de réserve retenu pour la conception du centre de stockage Cigéo, en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP (présentation des différents scénarios et estimation du volume de déchets correspondant)
1.3.4.4	**Les déchets d'éventuelles futures installations nucléaires**	x				Précisions apportées sur le lien entre le plan de programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), le déploiement de nouvelles capacités de production nucléaire et le dimensionnement du futur centre de stockage Cigéo
2.2	**Le choix du stockage géologique parmi les différentes pistes de gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL**	x			x	Précisions apportées sur la justification du choix de la solution retenue, en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP : • raisons ayant abouti à l'abandon de certaines solutions avant l'analyse comparative • différentes pistes de gestion à long terme des colis de déchets HA et MA-VL prises en compte dans l'analyse comparative • recherches réalisées par l'Andra et le CEA en cohérence avec la loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue Ajout d'une conclusion permettant la comparaison des différentes solutions étudiées
2.2.1	**Le contexte**					
2.2.2	**L'entreposage de longue durée des déchets**					
2.2.3	**La réduction de la dangerosité des déchets par la transmutation**					
2.2.4	**L'envoi des déchets dans l'espace**					
2.2.5	**L'évacuation des déchets dans les fonds marins et dans les calottes glacières**					
2.2.6	**Le stockage des déchets dans le milieu géologique continental**					
2.2.7	**La synthèse comparative des modes de gestion vraisemblables des déchets HA et MA-VL envisagés**					

Chapitre EI DAC		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume II de l'EI-DAC
2.2.8	La voie du stockage en formation géologique profonde est adoptée internationalement	x				Actualisation de la position des instances internationales et des politiques nationales en matière de stockage géologique profond
2.2.9	La poursuite des recherches sur les solutions alternatives	x			x	Ajout d'un paragraphe relatif à la poursuite des recherches sur les solutions alternatives, en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP
2.3.1	Le choix technique initial de stockage des déchets HA et MA-VL dans la formation du Callovo-Oxfordien dans le sous-sol de départements de la Meuse et de la Haute-Marne	x			x	Précisions apportées sur le choix technique initial de stockage des déchets HA et MA-VL dans la formation du Callovo-Oxfordien dans le sous-sol des départements de la Meuse et de la Haute-Marne en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP et pour prendre en compte la recommandation R15 de l'Autorité environnementale sur l'EI-DUP du projet global Cigéo
2.3.2.1.3	Le phasage des études du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne	x				Précisions apportées sur les études réalisées au laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et actualisation des dates clefs
2.3.2.2	Les investigations menées depuis la surface confirment le choix technique du Callovo-Oxfordien pour le stockage des déchets HA et MA-VL	x			x	Précisions apportées sur le potentiel géothermique du secteur mis en évidence dans le cadre des études du sous-sol menées depuis la surface, en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP
2.4.1	Les choix d'implantation du centre de stockage Cigéo	x			x	Prise en compte de la recommandation R17 de l'Autorité environnementale sur l'EI-DUP du projet global Cigéo, en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP : • précisions apportées sur les différentes étapes de décision de localisation et d'implantation du centre de stockage Cigéo et les critères de choix retenus • ajout d'un chapitre relatif à la démarche d'étude des variantes d'implantation du centre de stockage Cigéo
2.4.2	Les choix d'implantation des autres opérations associées à la création du centre de stockage Cigéo	x				Ajout d'un chapitre relatif à la démarche d'étude des variantes d'implantation des autres opérations, en cohérence avec le chapitre relatif au choix d'implantation du centre de stockage Cigéo
2.4.2.2.2	La localisation du poste de transformation 400/90 kV sous la maîtrise d'ouvrage RTE	x				Actualisation pour prendre en compte l'avancement de la concertation
2.4.2.4.2	La concertation préalable relative à la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 du réseau ferré national (ligne fret entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château)	x				Actualisation pour prendre en compte l'avancement de la concertation
2.4.2.6	L'opération « expédition et transport des colis de déchets radioactifs »	x				Précisions apportées sur la justification du choix du transport ferroviaire comme mode privilégié d'acheminement des colis de déchets radioactifs sur le centre de stockage Cigéo
2.4.2.7	Les opérations de caractérisation et de surveillance environnementale	x				Précisions apportées sur la mise en œuvre de la démarche « éviter, réduire, compenser » lors de la réalisation des choix d'implantation associés aux opérations de caractérisation et de surveillance environnementale
2.5.2	Les choix de conception liés à la sûreté des installations ainsi qu'à l'évolution progressive des connaissances scientifiques et technologiques	x			x	Précisions apportées sur l'importance des itérations de sureté, des évaluations et contrôles réalisés par des experts indépendants, pour prendre en compte la recommandation R14 de l'Autorité environnementale sur l'EI-DUP du projet global Cigéo et en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP
2.5.2.11	Faire des optimisations technico-économiques sans dégrader le niveau de sûreté	x			x	Précisions apportées sur l'absence de dégradation du niveau de sureté du centre de stockage Cigéo du fait des optimisations technico-économiques, en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP
2.5.3.4.4	La préservation des milieux aquatiques vis-à-vis des effluents non conventionnels issus du centre de stockage Cigéo	x				Précisions apportées sur la gestion distincte des effluents liquides, dits "non conventionnels"
2.5.3.4.7	Limitation des impacts sur les zones humides avérées	x				Précisions apportées sur les apports de la concertation sur le cycle de l'eau qui s'est déroulée entre avril et juin 2018 et sur les études complémentaires menées à la suite
2.6.2	Le dialogue et la concertation de l'Andra	x				Actualisation pour prendre en compte l'avancement de la concertation
2.6.4	Les enseignements de la concertation relative au centre de stockage Cigéo					

Chapitre EI DAC		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume II de l'EI-DAC
3.1	**Les opérations constituant le projet global Cigéo**	x				Précisions apportées sur le découpage en opérations et le repérage de ces dernières dans le volume
3.2	**Le centre de stockage Cigéo sous maîtrise d'ouvrage Andra**	x				Précisions apportées sur les installations et ouvrages : présentation du périmètre INB et intégrations de descriptions plus détaillées de certaines installations
3.3.1	**L'opération « alimentation électrique »**	x				Précisions apportées sur les installations et ouvrages au stade d'avancement "dossier de demande de création de l'INB "
3.3.2	**L'opération « adduction d'eau »**	x				Précisions apportées sur la convention pour l'adduction d'eau potable qui liera l'Andra aux SIAEP d'Échenay et au SIVU du Haut-Ornain
3.3.4	**L'opération « déviation de la route départementale D60/960 »**	x				Précisions apportées sur les trois options en cours d'études par le Conseil Départemental de la Haute-Marne
3.3.5	**L'opération « expédition et transport des colis de déchets »**	x				Précisions apportées sur les installations dédiées à l'expédition des colis de déchets déjà présentes sur les sites existants des producteurs de déchets
3.3.6	**Les opérations de « caractérisation et surveillance environnementale »**	x				Précisions apportées sur les opérations de caractérisation et surveillance environnementale envisagées
4.2	**La phase industrielle pilote**	x			x	Actualisation pour prendre en compte l'avancement de la concertation Précisions apportées sur le déroulement de la phase industrielle pilote, ses apports ainsi que sur son issue, pour prendre en compte la recommandation R14 de l'Autorité environnementale sur l'EI-DUP du projet global Cigéo
4.4	**La réversibilité du stockage**	x			x	Précisions apportées sur le concept de réversibilité et les exigences réglementaires, pour prendre en compte la recommandation R25 de l'Autorité environnementale sur l'EI-DUP du projet global Cigéo
5.	**Les principaux travaux et leurs modalités d'exécution**	x				Précisions apportées sur la présentation des travaux par phases et par opérations
6.	**L'estimation des consommations de ressources et des émissions et résidus attendus**	x				Précisions apportées sur l'estimation des consommations de ressources et des émissions et résidus attendus, en cohérence avec les actualisations apportées dans le Volume IV

Prec-Car : les précisions que les maîtres d'ouvrage apportent aux caractéristiques détaillées des opérations composant le projet global liées à des précisions ou aux évolutions de la conception

Ev-Initial : l'évolution de l'état initial de l'environnement en lien avec la date de dépôt de l'étude d'impact

Ev-Reg : les évolutions réglementaires

Prec-RepSI : précisions que les maîtres d'ouvrage apportent aux caractéristiques détaillées des opérations composant le projet global liées aux réponses apportées aux remarques émises par les services instructeurs lors de l'instruction de la précédente étude d'impact

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1 Isotopes de l'hydrogène 8
Figure 1-2 Illustration de différents types de rayonnements pouvant être émis par les radionucléides 8
Figure 1-3 Schéma de l'atténuation par des écrans de différents rayonnements ionisants 9
Figure 1-4 Schéma des voies d'exposition à la radioactivité 10
Figure 1-5 Valeurs moyennes d'expositions aux sources de radioactivité en France en 2021 (source IRSN) (5) 10
Figure 1-6 Répartition par secteur économique du volume de déchets (en équivalent conditionné) déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra à fin 2020 (9) 12
Figure 1-7 Coulée de verre en fusion contenant des déchets radioactifs de haute activité (Source Orano) 13
Figure 1-8 Exemples de colis de déchets radioactifs – déchets radioactifs de haute activité (HA) vitrifiés à gauche et déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue (MA-VL) cimentés à droite 13
Figure 1-9 Filières de gestion développées pour les différentes catégories de déchets radioactifs (9) 14
Figure 1-10 Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) dans l'Aube - en exploitation 14
Figure 1-11 Centre de stockage de la Manche (CSM) – centre exploité de 1969 à 1994 – en phase de démantèlement et de fermeture 14
Figure 1-12 Centre de stockage de l'Aube (CSA) – en exploitation 14
Figure 1-13 Répartition des déchets radioactifs en France à fin 2020 (9) 15
Figure 1-14 Hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7 UP2 800 d'Orano à La Hague © Orano 17
Figure 1-15 Exemple d'installation d'entreposage de déchets MA-VL : installation STE3 du site Orano de La Hague (photo prise à travers un hublot de protection) © Orano 18
Figure 1-16 Exemple d'installation d'entreposage de déchets HA : installation E-EV-SE du site Orano de La Hague (Source : Orano) 19
Figure 1-17 Volumes des colis de déchets HA et MA-VL pris en compte dans les études de conception de l'INB Cigéo 21
Figure 2-1 Transmutation par fission (à gauche) ou par capture de neutron (à droite) (47) 31
Figure 2-2 Fabrication par voie sèche (broyage, pressage, frittage et gainage) de combustibles d'études, cibles de transmutation et matrices de confinement. © A. Gonin/CEA 31
Figure 2-3 Principe de la réaction nucléaire en chaîne de fission de noyaux d'235U et de la formation de 239Pu initiée par la capture d'un neutron par un atome d'238U 32
Figure 2-4 Schéma de principe d'un système hybride associant un accélérateur de particules et un réacteur 33
Figure 2-5 Lanceur spatial de forte capacité 34
Figure 2-6 Campagne d'immersion de déchets radioactifs en mer dans les années 1960 35
Figure 2-7 Principes de deux concepts d'enfouissement de déchets dans les sédiments des fonds sous-marins (47) 35
Figure 2-8 Principe de stockage de déchets radioactifs dans une zone de subduction 36
Figure 2-9 Principe du stockage en forages profonds verticaux dans le socle cristallin 37
Figure 2-10 Principe du stockage en forages profonds verticaux dans le sel (56) 38
Figure 2-11 Principe du stockage en forages profonds dirigés en formation sédimentaire 39
Figure 2-12 Photographie du camion incendié au WIPP (37) 40
Figure 2-13 Galerie de sel : laboratoire souterrain d'Asse (Allemagne) 41
Figure 2-14 Exemple de roche granitique 42
Figure 2-15 Lieux d'installations scandinaves liées à la gestion des déchets de haute activité 42
Figure 2-16 Concept suédois KBS-3 de stockage de combustibles usés (Source : SKB) 43
Figure 2-17 Visite du laboratoire de recherche souterrain suédois à Aspö : démonstrateur de conteneur de stockage en cuivre dans une galerie souterraine 43
Figure 2-18 Gros plan sur une paroi de Callovo-Oxfordien dans une galerie du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne 44
Figure 2-19 Laboratoire souterrain du Mont-Terri : maquette d'une alvéole de stockage pour le combustible usé 44
Figure 2-20 Le site de Yucca Mountain dans le désert du Nevada 45
Figure 2-21 État d'avancement des projets de gestion des déchets radioactifs dans le monde (Andra 2022) 56
Figure 2-22 Dossier de demande d'autorisation d'installation et d'exploitation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne 60
Figure 2-23 Déploiement du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne entre 2004 et 2021 62
Figure 2-24 Forage de suivi géologique autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (Démanges aux Eaux) 64
Figure 2-25 Expérimentation de mesures potentiométriques dans le Callovo-Oxfordien (expérimentation TER) dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne 65
Figure 2-26 La niche expérimentale à -445 mètres dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne 65
Figure 2-27 Photographie d'une sur-carotte de roche en fin d'une expérience DIR (expérience DIR2002) et profils d'activités massiques en ^{134}Cs dans une sur-carotte de roche depuis la paroi de la chambre d'injection (expérience DIR1002) 66
Figure 2-28 Différentes techniques de creusement testées au Laboratoire souterrain : le brise roche hydraulique (à gauche), la machine à attaque ponctuelle (en haut à droite) et la machine à attaque ponctuelle sous jupe avec tunnelier (en bas à droite) 66
Figure 2-29 Carrefour GCR2/GVA2 réalisé dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne 68
Figure 2-30 Schéma de boulonnage 68
Figure 2-31 Répartition des accidents et des soins bénins survenus sur le carreau de fonçage et le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne par famille de dangers sur les neuf années du chantier 3 70
Figure 2-32 Répartition des accidents et soins bénins survenus sur le carreau de fonçage et le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne par famille de 70
Figure 2-33 Loi du 28 juin 2006 sur la gestion des matières et des déchets radioactifs (17) 71
Figure 2-34 Débat public sur le centre de stockage Cigéo : réunion inaugurale à Bure le 23 mai 2013 72
Figure 2-35 Réunion de présentation du point d'avancement du projet d'implantation de stockage géologique aux élus de la Meuse 73
Figure 2-36 Critères géologiques dans la zone de transposition 78
Figure 2-37 Proposition de zones souterraines d'intérêt pour une reconnaissance approfondie (2009) 79
Figure 2-38 ZIRA : zone souterraine d'intérêt pour une reconnaissance approfondie 79
Figure 2-39 Principe physique des mesures sismiques 80
Figure 2-40 Camion vibrateur utilisé lors de la campagne de mesure sur la ZIRA 80
Figure 2-41 Modélisation de l'épaisseur du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (en m) issue de la campagne de reconnaissance géologique approfondie 80
Figure 2-42 Zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) – vue de dessus 81

Figure 2-43 Zone d'implantation des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo (en orange) 81
Figure 2-44 Périmètre d'implantation possible pour l'entrée de la descenderie présenté en 2009 aux acteurs locaux 83
Figure 2-45 Carte de synthèse des contraintes pour implanter les installations de surface (2009) 85
Figure 2-46 Proposition de scénarios d'implantation pour les installations de surface (débat public de 2013) 86
Figure 2-47 Zone d'intervention potentielle retenue pour l'implantation de la zone descenderie 88
Figure 2-48 Zone d'intervention potentielle retenue pour l'implantation de la zone puits 91
Figure 2-49 Localisations des zones potentielles de dépôt des déblais sous forme de verses étudiées en 2012 93
Figure 2-50 Localisations possibles de zones de verses économisant l'espace agricole 93
Figure 2-51 Zone d'intervention potentielle pour l'implantation de la liaison intersites (LIS) 95
Figure 2-52 Zone d'intervention potentielle pour l'implantation de l'installation terminale embranchée 96
Figure 2-53 Scénarios 1 à 3 (de gauche à droite) : scénarios de raccordement sur la ligne 225 kV Froncles-Epizon-Muremont (rouge 400 kV, vert 225 kV, orange 90 kV) 97
Figure 2-54 Scénarios 4 (à gauche) et 5 (à droite) : scénarios de raccordement sur la ligne 400 kV Mery-Houdreville (rouge 400 kV, vert 225 kV, orange 90 kV) 98
Figure 2-55 Localisation des 24 emplacementsproposés par RTE pour l'implantation du poste 400/90 kV 100
Figure 2-56 Plan de localisation des installations d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo 101
Figure 2-57 Adduction d'eau - principes de raccordement envisagés 102
Figure 2-58 Desserte du Centre de stockage - Extrait du SIDT présenté au débat public « Cigéo » de 2013 103
Figure 2-59 Ligne 027000 entre l''ITE et le réseau ferré national 103
Figure 2-60 Opération de déviation de la route départementale D60/960-solutions soumises à concertation 105
Figure 2-61 Illustration de l'acheminement des colis de déchets radioactifs vers le centre de stockage Cigéo 106
Figure 2-62 Localisation des emprises réservées pour d'éventuelles extension du bâtiment nucléaire de surface EP1 pour la réversibilité 109
Figure 2-63 Localisation de l'emprise réservée pour le bâtiment nucléaire de surface EP2 à l'Est de la tête de descenderie 109
Figure 2-64 Localisation de la zone fluide et utilité au nord du tracé actuel de la route départementale D60/960 109
Figure 2-65 Illustration du processus itératif reliant acquisition de connaissances, conception et sûreté 111
Figure 2-66 Des itérations de Sûreté/Conception/Connaissances qui se sont échelonnées depuis 1991 114
Figure 2-67 Du dossier d'options de sûreté (DOS) vers l'autorisation de création de l'installation nucléaire (INB) du centre de stockage Cigéo 119
Figure 2-68 Contenu du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo 121
Figure 2-69 Le développement progressif du projet global Cigéo 122
Figure 2-70 Origine de production d'électricité - Région Grand Est – 2018 124
Figure 2-71 Les différentes options de production de chaleur par énergie thermique 125
Figure 2-72 Principe de construction des puits pour éviter la mise en communication des aquifères traversés 132
Figure 2-73 Carte de localisation du projet global Cigéo et des cours d'eaux à la proximité du centre de stockage Cigéo 133
Figure 2-74 Schéma de principe du déploiement des verses 134
Figure 2-75 Schéma de principe du déploiement de l'éventuelle troisième tranche de verses 134
Figure 2-76 Première réunion du Clis le 15 novembre 1999 137
Figure 2-77 Feuille de route de la concertation post-débat public 139
Figure 2-78 Ateliers de concertation autour du projet global Cigéo 141
Figure 3-1 Illustration de l'organisation des installations du centre de stockage Cigéo 153
Figure 3-2 Représentation illustrative du périmètre INB Cigéo 167
Figure 3-3 Présentation du périmètre INB – zones de surface 168
Figure 3-4 Présentation du périmètre INB – zone souterraine 169
Figure 3-5 Vue en 3D de l'installation souterraine 170
Figure 3-6 Cheminement des colis de déchets jusqu'à leur emplacement de stockage 172
Figure 3-7 Illustration de la mise en conteneur de stockage de colis de déchets MA-VL 173
Figure 3-8 Vue éclatée d'une hotte pour colis de déchets MA-VL 173
Figure 3-9 Illustration du funiculaire transportant une hotte MA-VL dans la descenderie 173
Figure 3-10 Illustration du système de transfert automatisé d'une hotte MA-VL 173
Figure 3-11 Illustration de conteneur de stockage de colis de déchets HA 174
Figure 3-12 Illustration du système de transfert automatisé d'une hotte HA 174
Figure 3-13 Exemple illustratif d'une opération de contrôle d'un emballage de transport menées sur une installation nucléaire 174
Figure 3-14 Organisation générale de la zone descenderie 176
Figure 3-15 Localisation des installations liées à la zone exploitation de la zone descenderie 177
Figure 3-16 Localisation des ouvrages nucléaires en zone descenderie – TFN, EP1 et TDC 177
Figure 3-17 Localisation des ouvrages nucléaires en zone descenderie – ETH et EP2 177
Figure 3-18 Schéma fonctionnel du terminal ferroviaire nucléaire 178
Figure 3-19 Vue en coupe longitudinale du bâtiment nucléaire de surface EP1 dans le sens sud/nord 179
Figure 3-20 Bâtiment nucléaire de surface EP1 - Niveau -11,10 mètres 179
Figure 3-21 Localisation de la tête de descenderie 180
Figure 3-22 Illustration en coupe de la tête de descenderie du funiculaire 180
Figure 3-23 Localisation de la tête de la descenderie de service – zone descenderie 181
Figure 3-24 Illustration de la perspective de la tête de la descenderie de service 182
Figure 3-25 Localisation du bâtiment sûreté/sécurité/environnement de la zone descenderie 182
Figure 3-26 Illustration de la perspective du bâtiment Sûreté/Sécurité/environnement de la zone descenderie 183
Figure 3-27 Localisation la pomperie incendie et de ses réservoirs - zone descenderie 183
Figure 3-28 Localisation de la centrale de secours et de ses réservoirs fioul en zone descenderie 184
Figure 3-29 Localisation de l'atelier de maintenance de la zone descenderie 185
Figure 3-30 Illustration e l'atelier de maintenance de la zone exploitation de la zone descenderie 185
Figure 3-31 Localisation des installations liées à la zone administrative de la zone descenderie 186
Figure 3-32 Localisation des installations liées à l'accueil du public 186
Figure 3-33 Exemple de configuration possible du bâtiment d'accueil du public 187
Figure 3-34 Localisation de la zone utilités 187
Figure 3-35 Schéma de principe du traitement de fumé et des résidus de la chaudière biomasse de la chaufferie de la zone descenderie 188
Figure 3-36 Vue en coupe de la chaufferie de la zone descenderie 189
Figure 3-37 Stockage bois en fosse avec extraction par fond racleur 189
Figure 3-38 Localisation de la zone terminale ferroviaire fret de la zone descenderie 189
Figure 3-39 Exemple d'aménagement et d'insertion paysagère possibles de la zone puits (vision en fin de phase de fonctionnement) 191
Figure 3-40 Organisation générale de la zone puits 192
Figure 3-41 Localisation des installations de la zone travaux 193
Figure 3-42 Illustration de l'émergences du puits VFT, représentation 3D 193
Figure 3-43 Illustration de l'émergence du puits VVT, représentation 3D 194
Figure 3-44 Illustration de l'émergences du puits MMT, représentation 3D 194
Figure 3-45 Plan de principe de localisation du déploiement des verses en zone puits (Z1 et Z2) 195
Figure 3-46 Plan de principe du déploiement de l'éventuelle troisième tranche de verses (Z3) 196
Figure 3-47 Localisation des ouvrages de gestion de l'argilite sur la zone puits 196
Figure 3-48 Illustration du bâtiment de gestion de l'argilite excavée 197
Figure 3-49 Illustration en coupe du bâtiment de gestion de l'argilite excavée 197
Figure 3-50 Localisation du convoyeur de matériaux de la zone puits 198
Figure 3-51 Localisation du convoyeur de matériaux entre la zone descenderie et la zone puits 198

Figure 3-52 Localisation des installations liées à la zone exploitation de la zone puits 199
Figure 3-53 Localisation du puits de ventilation air frais exploitation (VFE) - zone puits 200
Figure 3-54 Illustration des émergences du puits ventilation air frais exploitation (VFE), représentation 3D 200
Figure 3-55 Localisation du puits de ventilation air vicié exploitation (VVE) - zone puits 200
Figure 3-56 Illustration des émergences du puits ventilation air vicié exploitation (VVE), représentation 3D 201
Figure 3-57 Localisation du bâtiment de lutte incendie et de secours aux victimes de la zone puits 201
Figure 3-58 Localisation de la pomperie incendie et de ses réservoirs- zone puits 202
Figure 3-59 Localisation de la centrale de secours et de ses réservoirs fioul en zone puits 202
Figure 3-60 Localisation des ateliers de maintenance de la zone puits 203
Figure 3-61 Localisation des installations liées à la zone administrative de la zone puits 203
Figure 3-62 Localisation de la zone utilités 204
Figure 3-63 Vue en coupe de la chaufferie de la zone puits 205
Figure 3-64 Localisation de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) 207
Figure 3-65 Organisation générale des ouvrages souterrains à terminaison 208
Figure 3-66 Illustration du principe de séparation des différentes zones et liaisons surface-fond (dimensions et proportions des zones non représentatives) 208
Figure 3-67 Localisation des ouvrages de la descenderie colis 209
Figure 3-68 Localisation des ouvrages de la descenderie colis et de la ZSL Exploitation (à terminaison) 210
Figure 3-69 Coupe transversale de la descenderie colis et du système funiculaire 210
Figure 3-70 Descenderie service : vue en plan 210
Figure 3-71 Correspondance fond/surface des puits travaux 211
Figure 3-72 Schéma de principe de la collecte des eaux d'infiltration pour les puits travaux 212
Figure 3-73 Correspondance fond/surface des puits d'exploitation 213
Figure 3-74 Perspective du puits ventilation air frais exploitation (VFE) 213
Figure 3-75 Perspective du Puits ventilation air vicié exploitation 214
Figure 3-76 Vue en plan de la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) 215
Figure 3-77 Vue en 3D de la zone de soutien logistique exploitation (ZSL-E) 215
Figure 3-78 Architecture de la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) 216
Figure 3-79 Périmètre de la zone de soutien logistique travaux (ZSLT) dans son environnement 216
Figure 3-80 Position des quartiers de stockage des colis de déchets dans l'architecture souterraine 217
Figure 3-81 Localisation et illustration des ouvrages du quartier de stockage MA-VL à terminaison 218
Figure 3-82 Illustration de l'alvéole MA-VL avec ses différentes parties 218
Figure 3-83 Illustration de la localisation du quartier pilote HA 219
Figure 3-84 Illustration des ouvrages du quartier pilote HA 219
Figure 3-85 Illustration des ouvrages du quartier de stockage HA 220
Figure 3-86 Vue en coupe d'un alvéole du quartier pilote HA 220
Figure 3-87 Vue en coupe d'un alvéole du quartier pilote HA après mise en place du bouchon de fermeture 221
Figure 3-88 Localisation de la liaison intersites 222
Figure 3-89 Exemple de convoyeur à bande en caisson béton 223
Figure 3-90 Localisation de l'installation ferroviaire terminale embranchée 223
Figure 3-91 Vue aérienne de la plateforme logistique de Gondrecourt-le -Château 224
Figure 3-92 Localisation du raccordement électrique du centre de stockage Cigéo sur le réseau 400 kV 227
Figure 3-93 Plan de localisation des installations d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo 228
Figure 3-94 Plan de localisation de la portion de la ligne 400 kV faisant l'objet de travaux 231
Figure 3-95 Illustration de pylônes pour ligne 400 kV (source RTE - juin 2020) (221) 232
Figure 3-96 Représentation schématique du poste de transformation 400/90 kV 232
Figure 3-97 Exemple de transformateur 400/90 kV 232
Figure 3-98 Illustration d'un poste de transformation 400/90 kV 233
Figure 3-99 Illustration des opérations de raccordement sur la ligne électrique 400 kV (Source RTE) 234
Figure 3-100 Schéma de principe d'installation des deux liaisons électriques enterrées 90 kV en tranchées parallèles 234
Figure 3-101 Exemple du poste de transformation 90/20 kV de Pouxeux (Vosges) 234
Figure 3-102 Localisation de l'opération d'adduction d'eau 235
Figure 3-103 Trancheuse pour pose de canalisation 236
Figure 3-104 Canalisation en encorbellement 236
Figure 3-105 Tête de foreuse pour fonçage 236
Figure 3-106 Localisation de la ligne ferroviaire 027000 237
Figure 3-107 Profil en travers type d'une voie ferrée 238
Figure 3-108 Passage à niveau à Abainville 239
Figure 3-109 L'ancienne gare de Ligny-en-Barrois 239
Figure 3-110 Ligne ferroviaire 027000 à Nançois-Tronville (à droite) 239
Figure 3-111 Ouvrage d'art de la ligne ferroviaire 027000 239
Figure 3-112 Enlèvement de portions d'ancienne voie ferrée 240
Figure 3-113 Opération de déviation de la route départementale D60/960 – options étudiées en vue de la concertation 241
Figure 3-114 Opération de déviation de la route départementale D60/960 – Option 1 « Tracé de proximité » 241
Figure 3-115 Opération de déviation de la route départementale D60/960 – Option 2 « Tracé élargi au nord » 242
Figure 3-116 Opération de déviation de la route départementale D60/960 – Option 3 « Tracé élargi au sud » 242
Figure 3-117 Illustration de l'acheminement des colis de déchets radioactifs vers le centre de stockage Cigéo 243
Figure 3-118 Convoi de déchets radioactifs 244
Figure 3-119 Centrale d'acquisition de données dans un cabanon de protection de forage (à gauche) et tête de piézomètre (à droite) 246
Figure 3-120 Plateforme de forage profond 247
Figure 3-121 Principe d'un diagnostic archéologique 248
Figure 4-1 Les phases temporelles successives de déploiement du projet global Cigéo 253
Figure 4-2 Illustration du développement progressif des ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo 255
Figure 4-3 Schéma illustratif de dispositifs de fermeture et de scellement des puits et des descenderies construits pour la fermeture définitive de centre de stockage Cigéo 256
Figure 4-4 Représentation schématique du scénario de fermeture de référence proposé par l'Andra sur dans la version de 2016 du plan directeur pour l'exploitation du centre de stockage Cigéo (92) 261
Figure 4-5 Banc d'essai de récupérabilité de colis de stockage HA (Source : Andra) 263
Figure 5-1 Illustration de piste provisoire d'accès au pylône avec décapage de la terre végétale et mise en place d'un géotextile recouvert de cailloux (source : RTE – juin 2020) (221) 267
Figure 5-2 Illustration de piste provisoire d'accès au pylône constitué de plaques de roulement (source : RTE, juin 2020) (221) 268
Figure 5-3 Travaux de sécurisation des fondations (source RTE – juin 2020) (221) 268
Figure 5-4 Représentation schématique du remplacement du câble de garde actuel par un câble de garde avec fibre optique incorporée (source RTE – juin 2020) (221) 269
Figure 5-5 Illustration d'une poulie de déroulage (source RTE – juin 2020) (221) 269
Figure 5-6 Illustration d'une freineuse au niveau du couloir de servitude de la ligne 400 kV (source RTE – juin 2020) (221) 269
Figure 5-7 Photographie d'opération de démolition 274
Figure 6-1 Estimation puissance électrique maximale nécessaire au centre de stockage Cigéo 276
Figure 6-2 Localisation des réservoirs de distribution des eaux recyclées en zone descenderie 278
Figure 6-3 Localisation des réservoirs de distribution des eaux recyclées en zone puits 278
Figure 6-4 Identification des principaux ouvrages en terre en zone descenderie 280
Figure 6-5 Identification des principaux ouvrages en terre en zone puits 280

Tableaux

Tableau 1-1	Centres de stockage de déchets radioactifs existants en France	14
Tableau 1-2	Volume des colis primaires de déchets HA destinés au centre de stockage Cigéo	22
Tableau 1-3	Volume des colis primaires de déchets MA-VL destinés au centre de stockage Cigéo	22
Tableau 2-1	Tableau comparatif des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères : capacité à prendre en charge tous les déchets HA de l'inventaire actuel/capacité à prendre en charge tous les déchets MA-VL de l'inventaire actuel/production de nouveaux déchets radioactifs/nécessité d'une filière suivante	47
Tableau 2-2	Tableau comparatif de la maturité technologique des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères : faisabilité technique/nombre d'installations nouvelles à créer	49
Tableau 2-3	Tableau comparatif des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères liés à la réversibilité : progressivité de la construction, flexibilité de l'exploitation, adaptabilité de la conception et récupérabilité des colis	50
Tableau 2-4	Tableau comparatif des modes de gestion vraisemblables envisagés pour les déchets HA et MA-VL selon les critères : Impact environnemental brut de la construction - du fonctionnement et du démantèlement - à long terme/impact sur les transports de colis de déchets/sur la santé humaine/risques à long terme	52
Tableau 2-5	Tableau de synthèse comparatif simplifié des modes de gestion envisagés pour les déchets HA et MA-VL	54
Tableau 2-6	Les dates clés du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne	62
Tableau 2-7	Liens internet présentant des informations sur les installations des sites des producteurs	106
Tableau 2-8	Synthèse comparative de solutions	126
Tableau 2-9	Liste des captages d'adduction en eau potable présents dans un rayon de 10 km des points de raccordements du centre de stockage Cigéo	127
Tableau 2-10	Les rendez-vous de partage de la concertation	139
Tableau 3-1	Tableau récapitulatif des ICPE dans l'INB	153
Tableau 3-2	Tableau récapitulatif des ICPE situées sur le centre de stockage (hors INB)	160
Tableau 3-3	Tableau récapitulatif des IOTA dans le périmètre de l'INB	163
Tableau 3-4	Tableau récapitulatif des IOTA situées sur le centre de stockage (hors INB)	165
Tableau 3-5	Communes d'implantation de la zone descenderie	175
Tableau 3-6	Principales caractéristiques des installations de la chaufferie de la zone descenderie	188
Tableau 3-7	Récapitulatif des ouvrages les plus importants de la zone descenderie	190
Tableau 3-8	Communes d'implantation de la zone puits	191
Tableau 3-9	Principales caractéristiques des installations de la chaufferie de la zone puits	205
Tableau 3-10	Récapitulatif des ouvrages les plus importants de la zone puits	206
Tableau 3-11	Communes à l'aplomb de la zone possible de déploiement des ouvrages souterrains de stockage	208
Tableau 3-12	Région, département et communes traversés par le projet de liaison intersites	222
Tableau 3-13	Région, départements et communes traversés par l'infrastructure ferroviaire de l'installation terminale embranchée	223
Tableau 3-14	Commune d'implantation de la plateforme logistique	224
Tableau 3-15	Communes actuellement identifiées pour les travaux de sécurisation de la ligne 400 kV de l'opération d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo	229
Tableau 3-16	Commune identifiées pour l'implantation du poste 400 kV et des lignes enterrées de l'opération d'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo	233
Tableau 3-17	Communes actuellement identifiées pour l'implantation des ouvrages de l'opération d'adduction d'eau du centre de stockage Cigéo	236
Tableau 3-18	Communes actuellement identifiées pour l'opération de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	238
Tableau 3-19	Communes concernées actuellement identifiées pour l'opération de déviation de la route départementale D60/960	242
Tableau 3-20	Communes actuellement identifiées pour les installations liées à l'opération d'expédition et de transport	243
Tableau 3-21	Besoins de surveillance du stockage par forages	248
Tableau 5-1	Travaux envisagés au niveau des sites Natura 2000 traversés par la ligne électrique 400 kV	270
Tableau 6-1	Présentation des dispositifs d'approvisionnement en eaux recyclées du centre de stockage Cigéo	277
Tableau 6-2	Recensements des sources d'émissions atmosphériques conventionnelles en phase d'aménagements préalables sur le périmètre du centre de stockage Cigéo	281
Tableau 6-3	Recensements des sources d'émissions atmosphériques conventionnelles en phase de construction initiale sur le périmètre du centre de stockage Cigéo	282
Tableau 6-4	Bilan des émissions atmosphériques conventionnelles en phase de construction initiale sur le périmètre du centre de stockage Cigéo	282
Tableau 6-5	Recensements des sources d'émissions atmosphériques conventionnelles en phase de fonctionnement sur le périmètre du centre de stockage Cigéo	283
Tableau 6-6	Bilan des émissions atmosphériques conventionnelles en phase de fonctionnement sur le périmètre du centre de stockage Cigéo	283
Tableau 6-7	Rejets atmosphériques radioactifs annuels maximaux de l'installation nucléaire de surface du centre de stockage Cigéo	284
Tableau 6-8	Rejets atmosphériques radioactifs annuels maximaux de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo	284
Tableau 6-9	Répartition des volumes d'eau rejetés dans l'Ormançon	286
Tableau 6-10	Estimation annuelle des déchets induits conventionnels - Phase fonctionnement – exploitation courante (hors jouvence et hors verses) en moyenne annuelle	291
Tableau 6-11	Estimation des déchets radioactifs induits lors du fonctionnement en moyenne annuelle (hors période de jouvence)	292

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Décret n°2022-993 du 7 juillet 2022 déclarant d'utilité publique le centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue Cigéo et portant mise en compatibilité du schéma de cohérence territoriale du Pays Barrois (Meuse), du plan local d'urbanisme intercommunal de la Haute-Saulx (Meuse) et du plan local d'urbanisme de Gondrecourt-le-Château (Meuse). Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française. Vol. 13, N°0157.

2 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 8 - Étude de maîtrise des risques. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-ERQ-AMOA-SR0-0000-19-0037.

3 Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2015). 23 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/retombees-tirs-armes-nucleaires/Documents/IRSN_serie_fiches_tirs_08-2015.pdf.

4 Exposition de la population française aux rayonnements ionisants. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2015). N°IRSN/2015-00001. 22 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN-Exposition-Population-Rayonnements-Ionisants_2015-00001.pdf.

5 Constat radiologique "Rémanence de la radioactivité d'origine artificielle". Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2016). N°PRP-ENV/SESURE 2015-41. 130 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/surveillance-environnement/Documents/IRSN_Constat-Remanence-France_201604.pdf.

6 Quelle est la dose de radioactivité dangereuse pour la santé ? Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2019). Consulté le 31/10/2019. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/faq/Pages/Quelle-est-la-dose-de-radioactivite-dangereuse-pour-la-sante_faibles-doses.aspx.

7 Décision n° 2009-DC-0153 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 18 août 2009 relative aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2009).

8 L'exposition à la radioactivité en France. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2021). N°IRSN/DCOM-2021. 1 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Documents/info_expositio n_population-V2021.pdf.

9 Inventaire national des matières et déchets radioactifs - Les essentiels 2022. Andra (2022). Document N°CGAMOAPRE220003. Disponible à l'adresse : https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/pdf/Andra-MAJ_Essentiels_2022-22_01_25-BDweb_0.pdf.

10 La sûreté des centrales nucléaires : les rejets. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2018). Consulté le 31/10/2019. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-surete-des-centrales-nucleaires/Radioprotection-et-protection-de-l-environnement/Les-rejets.

11 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.

12 Stockage définitif des déchets radioactifs. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011). N°SSR 5. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1449f_Web.pdf.

13 Décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (2008). Journal officiel de la République française. Vol. 1, N°0092.

14 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 7 - Version préliminaire du rapport de sûreté. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR0-0000-21-0007.

15 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2016-2018. Autorité de sûreté nucléaire (ASN); Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2017). N°DICOM_DGEC/BRO/16308. 282 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2016-2018/PNGMDR-2016-2018-Rapport-complet?

16 Avis n°2020-AV-0369 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er décembre 2020 sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018, en vue de l'élaboration du cinquième plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2020). 16 p.

17 Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Assemblée nationale; Sénat; Président de la République (2006). Journal officiel de la République française. Vol. 1, N°0149.

18 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2007-2009 : de l'Inventaire national des déchets radioactifs et des matières valorisables à un bilan et une vision prospective des filières de gestion à long terme des déchets radioactifs en France. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2006). 147 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2007-2009-Complet?

19 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2010-2012. Autorité de sûreté nucléaire (ASN); Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2010). 147 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/espace-professionnels/installations-nucleaires/le-plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs#pngmdr-2010-2012.

20 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2013-2015. Autorité de sûreté nucléaire (ASN); Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2013). N°DICOM_DGEC/BRO/13030. 232 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/espace-professionnels/installations-nucleaires/le-plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs#pngmdr-2013-2015.

21 Débat public - Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs - 5e édition 2019-2021 : compte rendu du débat public 17 Avril > 25 Septembre 2019. Commission nationale du débat public (CNDP) (2019). 197 p. Disponible à l'adresse : https://pngmdr.debatpublic.fr/images/bilan-cr/PNGMDR-compte-rendu.pdf.

22 Consultations publiques : Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2022-2026. Ministère de la Transition écologique (2022). Consulté le 24/04/2022. Disponible à l'adresse : https://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/plan-national-de-gestion-des-matieres-et-des-a2648.html.

23 Avis délibéré de l'Autorité environnementale sur le plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2021-2025. Autorité environnementale (2021). N°Ae 2021-96. 34 p. Disponible à l'adresse : http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/211118_pngmdr_delibere_cle782ddc.pdf.

24 Décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par 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. Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française, N°286.

25 Arrêté du 9 décembre 2022 pris en application du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par 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. Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française, N°286.

26 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. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2017-12/501.pdf.

27 Inventaire national des matières et déchets radioactifs - Les essentiels 2018. Andra (2018). Document N°PUBLI/20-0826. Disponible à l'adresse : https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/andra-synthese-2018-web.pdf.

28 Décision n°2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2015).

29 Programmation pluriannuelle de l'énergie. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2016). 598 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/PPE%20int%C3%A9gralit%C3%A9.pdf.

30 Décret n° 2016-1442 du 27 octobre 2016 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2016). Journal officiel de la République française. Vol. 3, N°0252.

31 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SDR-0000-19-0001.

32 Délibération du conseil d'administration de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs du 5 mai 2014 relative aux suites à donner au débat public sur le projet CIGEO. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2014). Journal officiel de la République française, N°108, pp.7851-4.

33 PNGMDR 2016-2018 : proposition de types et de quantités de déchets à inclure dans l'inventaire de réserve de Cigéo en application de l'article 56 de l'arrêté du 23 février 2017. Andra (2017). Document N°PUBLI/21-3707. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-07/PROPOSITION%20DE%20TYPES%20ET%20DE%20QUANTITES%20DE%20DECHETS%20A%20INCLURE%20DANS%20L%27INVENTAIRE%20DE%20RESERVE%20DE%20CIGEO_PNGMDR1618.pdf.

34 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Inventaire de réserve de l'INB Cigéo. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-ESE-0000-19-0329.

35 Arrêté du 23 avril 2012 pris en application du décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'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 (2012). Journal officiel de la République française, N°0097.

36 Programmation pluriannuelle de l'énergie. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2016).

37 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.

38 Proposition de loi 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. Sénat (2016), N°522.

39 Loi n°2013-1279 du 29 décembre 2013 de finances rectificative pour 2013 (version consolidée) (2019), N°EFIX1327237L.

40 Loi n°99-1172 du 30 décembre 1999 de finances pour 2000 (version consolidée). Assemblée nationale; Sénat (2019). Journal officiel de la République française.

41 IRCP Publication 60: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP (1990). Vol. 21, N°1-3.

42 Directive n°2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom. Conseil de l'Union européenne (2014). Journal officiel de l'Union européenne, N°L13.

43 Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2008). 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/guide_RFSIII_2_fV1_2_.

44 Rapport Castaing : rapport du groupe de travail sur les Recherches et Développements en matière de gestion des déchets radioactifs (octobre 1983 - octobre 1984). Ministère du Redéploiement industriel et du Commerce extérieur; Conseil supérieur de la sûreté nucléaire (1983).

45 Goguel, J. Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques - Critères techniques de choix de site, juin 1985-mai 1987. Ministère de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Tourisme (1987). 245 p. Disponible à l'adresse : https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/106/47106427.pdf.

46 Le rapport Goguel - Stockage des déchets radioactifs en formations géologique : critères techniques de choix de site - Mini dossier. CIDN; CEN Cadarache (1998). 27 p. Disponible à l'adresse : http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/049/20049714.pdf.

47 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). N°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.

48 Rapport global d'évaluation des recherches conduites dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991. Commission nationale d'évaluation relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (CNE) (2006). 38 p. Disponible à l'adresse : https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/064000240.pdf.

49 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 (ASN) (2015). 12 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/fr/connaissances/nucleaire_et_societe/expertise-pluraliste/irsn-anccli/documents/sem9/asn-avis-2006-stockage.pdf.

50 Loi n°91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs. Assemblée nationale; Sénat (1991). Journal officiel de la République française, N°1.

51 La transmutation de déchets radioactifs par laser de haute puissance : le défi de Gérard Mourou. Andra (2019). Consulté le 12/08/2022. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/la-transmutation-de-dechets-radioactifs-par-laser-de-haute-puissance-le-defi-de-gerard-mourou.

52 Avis n° 2013-AV-0187 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 juillet 2013 sur la transmutation des éléments radioactifs à vie longue. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013).

53 Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter (London Convention) (1972). Convention de Londres.

54 Traité sur l'Antarctique (1959).

55 Deep Borehole Disposal Research: Demonstration Site Selection Guidelines, Borehole Seals Design, and R&D Needs. Fuel Cycle Research & Developement. Sandia National Laboratories (2013). N°SAND2013-9490P. 221 p. Disponible à l'adresse : https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/12/f5/DeepBorehDisposalRDDemoSiteGuideDesignSealsNeeds.pdf.

56 Minkley, W.,Ludeling, C. Deep Borehole Disposal in Salt Rocks. American Rock Mechanics Association (ARMA) (2016). 50th Rock Mechanics/Geomechanics Symposium in Houston, Texas, June 26-29, 2016.

57 Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG). Bunderministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017).

58 The Government approves SKB's final repository system. SKB (2022). Consulté le 12/08/2022. Disponible à l'adresse : https://www.skb.com/news/the-government-approves-skbs-final-repository-system/.

59 Laboratoire souterrain HADES. SKE CEN (2019). Consulté le 02/12/2019. Disponible à l'adresse : https://www.sckcen.be/fr/Research/Infrastructure/HADES.

60 Le dossier 2005. Andra (2005). Consulté le 29/07/2021. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference#section-967.

61 Où en est l'évacuation des déchets radioactifs en formations géologiques ? Une évaluation internationale des progrès récents. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) (1999). 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/1999/ouenest.pdf.

62 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011). N°SSG-14. 104 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1483_web.pdf.

63 Le Gouvernement lance un appel à projets visant à soutenir l'innovation pour la gestion des déchets radioactifs. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires; Ministère de la Transition énergétique (2021). Consulté le 12/08/2022. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/gouvernement-lance-appel-projets-visant-soutenir-linnovation-gestion-des-dechets-radioactifs.

64 Bataille, C., Longuet, G., Barnier, M. Rapport du médiateur. Mission de médiation sur l'implantation de laboratoires de recherches souterrain; Ministère de l'Industrie; Ministère de l'Environnement (1993). 35 p. Disponible à l'adresse : http://christian.bataille.pagesperso-orange.fr/html/act_parl/dossiers/nucleaire/mediation.htm.

65 Dossier 2005 Argile. Évaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse. Andra (2005). Document N°CRPADP040002. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2017-12/266.pdf.

66 Dossier 2005 Granite. Intérêt des formations granitiques pour le stockage géologique. Andra (2005). Document N°PUBLI/19-2342. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2017-12/267.pdf.

67 Avis n°2018-AV-0300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2018). Disponible à l'adresse : http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2018-AV-0300-de-l-ASN-du-11-janvier-2018.

68 Stockage réversible profond - Étape 2009. Proposition de zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation de surface. Andra (2010). Document N°DCOM/DIR/10-0106. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/391.pdf.

69 Dossier d'options de sûreté - Partie après fermeture (DOS-AF). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOASR20000150062. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-apres-fermeture_0.pdf.

70 Réunion interministérielle de l'Industrie, santé, recherche, éducation, environnement - Questions nucléaires : relevé de conclusions (1998).

71 Boisson, P., Huet, P., Mingasson, J. Rapport à Madame la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, à Monsieur le ministre de la recherche, à Monsieur le secrétaire d'État auprès du ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, chargé de l'industrie. Article 1er du décret n°99-687 du 3 août 1999. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement; Mission collégiale de concertation granite (2000). 62 p. + annexes.

72 Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2010). Journal officiel de la République française. Vol. 2, N°0248.

73 Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2011). Journal officiel de la République française. Vol. 3, N°0248.

74 Rapport d'évaluation n°2. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2008). 151 p. Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/cne2/rapport%202%20-%20juin%202008.pdf?phpMyAdmin=XFyEwTnpqXv9qwtMxyZ8gJA7yIe.

75 Rapport d'évaluation n°3. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (1997). 248 p. Disponible à l'adresse : https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/154000535.pdf.

76 Enquêtes publiques DAIE - ICPE - IOTA du mardi 26 octobre 2010 au mardi 30 novembre 2010 relatives aux demandes en vue du renouvellement des autorisations d'exploitation et de fonctionnement du laboratoire de recherche souterrain de Meuse / Haute-Marne, situé au lieu-dit "La Voie Gasselle" sur le territoire de la commune de Bure (55) présentées par l'Andra. Conclusions de la commission d'enquête et avis sur l'enquête DAIE. Département de la Meuse; Département de la Haute-Marne (2011).

77 Décret n°2011-1910 du 20 décembre 2011 autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs à 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 (version consolidée). Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2012). Journal officiel de la République française.

78 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo - Les référentiels de connaissances. Les expérimentations scientifiques et technologiques menées au centre de Meuse/Haute-Marne. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-TR0-0000-20-0002.

79 Dossier d'options de sûreté - Partie exploitation (DOS-Expl). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOASR10000150060. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-exploitation.pdf.

80 Dossier 2005 Argile. Les recherches de l'Andra sur le stockage géologique des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue : résultats et perspectives. Andra (2005). Document N°DCOM/13-0225. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/265.pdf.

81 Règle n°III.2.f du 10 juin 1991 - Définition des objectifs à retenir dans les phases d'études et de travaux pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde afin d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stock. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1991). Règles fondamentales de sûreté relatives aux installations nucléaires de base autres que réacteurs.

82 Résumé du compte-rendu du débat public sur les options générales en matière de gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue - septembre 2005 - janvier 2006. Commission nationale du débat public (CNDP) (2006). Disponible à l'adresse : https://www.uarga.org/downloads/Documentation/resum-compte-rendu.pdf.

83 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. Commissariat à l'énergie atomique (CEA) (2012). 88 p. Disponible à l'adresse : http://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/rapports/rapport-gestion-durable-matieres-nucleaires/Tome%202.pdf.

84 Sûreté du stockage géologique de déchets radioactifs HAVL en France : examen international par des pairs du "Dossier 2005 Argile" concernant le stockage dans la formation du Callovo-Oxfordien. OCDE; Nuclear Energy Agency (NEA) (2006). N°NEA 6179. 81 p. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2006/nea6179-havl.pdf.

85 Birraux, C. Rapport fait au nom de la commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire sur le projet de loi, après déclaration d'urgence, de programme relatif à la gestion des matières et des déchets radioactifs (n°2977). Assemblée nationale (2006). N°3003. Disponible à l'adresse : http://www.assemblee-nationale.fr/12/pdf/rapports/r3003.pdf.

86 Birraux, C. Rapport fait au nom de la commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire sur le projet de loi, modifié par le Sénat, après déclaration d'urgence (N°3121), de programme relatif à la gestion durable des matirèes et des déchets radioactifs. Assemblée nationale (2006). N°3154. Disponible à l'adresse : http://www.assemblee-nationale.fr/12/pdf/rapports/r3154.pdf.

87 Suites données par l'Andra au projet CIGEO à l'issue du débat public : Centre industriel de stockage géologique de déchets radioactifs. Andra (2014). Document N°DCOM/14-0107. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2017-12/dcom-14-0107.pdf.

88 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.

89 Bilan du débat public. Projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse / Haute-Marne (Cigéo), 15 mai - 15 décembre 2013, dressé par le Président de la Commission nationale du débat public. Commission nationale du débat public (CNDP) (2014). 20 p. Disponible à l'adresse : https://cpdp.debatpublic.fr/cpdp-cigeo/docs/cr-bilan/bilan-cpdp-cigeo.pdf.

90 Raison, M. Rapport fait au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable sur la proposition de loi de MM Gérard Longuet, Christian Namy et plusieurs de leurs collègues 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. Sénat (2016). N°594. 36 p. Disponible à l'adresse : http://www.senat.fr/rap/l15-594/l15-5941.pdf.

91 Bouillon, C. Rapport fait au nom de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire sur la proposition de loi, adoptée par le Sénat, 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 (N°3755). Assemblée nationale (2016). N°3894. Disponible à l'adresse : http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/rapports/r3894.pdf.

92 Cigéo - Proposition de plan directeur pour l'exploitation (PDE). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOASDR0000150063. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-08/proposition%20PDE%20avril%202016.pdf.

93 Courrier du Ministre au Président de l'Andra sur le choix de la ZIRA. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (2010).

94 Communiqué de presse : Réunion du Comité de Haut Niveau. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2013). 1 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/archives-presse-2012-2017/IMG/pdf/2013-02-04_-_Reunion_du_Comite_de_Haut_Niveau.pdf.

95 Réunion du 29 juin 2009 - Assemblée générale du Clis à Poissons, le 29 juin 2009. Comité local d'information et de suivi (CLIS) du laboratoire de Bure (2009). 72 p. Disponible à l'adresse : http://clis-bure.fr/wp-content/uploads/2019/03/retranscription-29-06-09.pdf.

96 Projet de centre de stockage HAVL : le périmètre se précise. Est Républicain; Journal de la Haute-Marne (2009).

97 Avis n°2010-AV-0084 du 5 janvier 2010 de l'ASN sur le dossier de l'agence nationale de gestion des déchets radioactifs (ANDRA) relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface pour un stockage réversible en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2010). 5 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2010-AV-0084-du-5-janvier-2010-de-l-ASN.

98 Lettre CODEP-DRC-2018-001635 du 12 janvier 2018 relative au Dossier d'options de sûreté pour le projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2018). N°CODEP-DRC-2018-001635. 45 p.

99 Rapport d'évaluation n°4 - Tome 1. Commission nationale d'évaluation relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (CNE) (2010). Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/Rapport-CNE2-2010.pdf.

100 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. Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2016). 38 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-Publications/Rapport-de-la-revue-par-les-pairs-CIGEO-dec-2016?

101 Analyse des documents Cigéo 2016 et recommandations. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2016). 22 p. Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Analyse-DOS-DOREC-PDE-Vfinal.pdf.

102 Analyse des documents CIGEO 2016 et recommandations. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2016).

103 Projet de loi de finances pour 2021 n° II-1274 rect. bis. Sénat (2020).

104 Décision n°2013/16/CIGEO/4 : Projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (projet CIGEO). Commission nationale du débat public (CNDP) (2013).

105 Circulaire du 9 septembre 2002 relative au développement des réseaux de transport et de distribution d'électricité. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2002).

106 Circulaire CAB n°47498 MZE - Développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie; Ministère délégué à l'Industrie (2002). Journal officiel de la République française.

107 Raccordement au Réseau de transport d'électricité (RTE) à 400kV pour le Centre industriel de stockage géologique de déchets radioactifs (Cigéo) de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). Préfecture de la Meuse (2016).

108 Ordonnance n°2016-1060 du 3 août 2016 portant réforme des procédures destinées à assurer l'information et la participation du public à l'élaboration de certaines décisions susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2016). Journal officiel de la République française. Vol. 14, N°0181.

109 Stievenard, J.-M. Bilan du garant - Raccordement au réseau de transport d'électricité du projet Cigéo : Concertation préalable - 13 janvier au 12 février 2020. Commission nationale du débat public (CNDP) (2020). Disponible à l'adresse : https://www.raccordement-cigeo-rte.fr/documents/20.pdf.

110 Raccordement au réseau de transport d'électricité à 400 000 volts du projet Cigéo - Rapport de RTE sur les enseignements tirés de la phase de concertation préalable du public menée du 13 janvier au 12 février 2020. Réseau de transport électrique (RTE) (2020). Disponible à l'adresse : https://www.raccordement-cigeo-rte.fr/documents/21.pdf.

111 Modernisation de la ligne de fret Nançois-Tronville – Gondrecourt-le-Château : Concertation du 3 mai au 8 juin 2021. Andra (2021). Consulté le 28/06/2021. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/blog/modernisation-de-la-ligne-de-fret-nancois-tronville-gondrecourt-le-chateau.

112 Martin, L., Vazelle, J.-D. Bilan de la concertation - SNCF Réseau : Projet de modernisation de la ligne ferroviaire Nançois-Tronville/Gondrecourt-Le-Château. Commission nationale du débat public (CNDP) (2021). 37 p. Disponible à l'adresse : https://www.sncf-reseau.com/sites/default/files/2021-07/SNCF%20Bilan%20Garants%20Concertation%20Pre%CC%81alable_VDEF.pdf.

113 Modernisation de la ligne de Fret Nançois-Tronville - Gondrecourt-Le-Château : Bilan de la concertation. SNCF Réseau (2021). 86 p. Disponible à l'adresse : https://www.sncf-reseau.com/sites/default/files/2021-09/Cigeo_Bilan%20de%20concertation_VDEF_2.pdf.

114 Décision n°2021-44 - Déviation de la RD 60/960 CIGEO - 1 du 7 avril 2021 relative à la déviation de la route départementale 60/960 liée au projet de centre industriel de stockage géologique (CIGEO) à Saudron (52). Commission nationale du débat public (CNDP) (2021). Journal officiel de la République française, N°92.

115 Meaux, M.-L., Schneider, L. Bilan de la concertation - Projet de déviation de la route départementale 60/960 lié au projet de centre industriel de stockage géologique (Cigéo) - Concertation préalable du 31 janvier 2022 au 11 mars 2022. Commission nationale du débat public (CNDP) (2022). Disponible à l'adresse : https://www.debatpublic.fr/projet-de-deviation-routiere-de-la-rd60-rd960-autour-du-site-de-cigeo-1314.

116 Routes départementales 60 et 960 : projet de contournement de la future zone descenderie de Cigéo - Bilan de la concertation préalable. Département de la Haute-Marne (2022). 14 p. Disponible à l'adresse : https://haute-marne.fr/wp-content/uploads/2022/05/CD52_RD60-960_Bilan-concertation.pdf.

117 Rapport d'information du site de la Hague (édition 2019). Orano (2020). 92 p. Disponible à l'adresse : https://www.orano.group/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/rapport-tsn-la-hague-2019.pdf?sfvrsn=662c3ab5_8.

118 Commission Locale d'Information du CNPE Bugey et IONISOS - Réunion publique du 7 décembre 2020. Ain (2020). 62 p. Disponible à l'adresse : https://www.ain.fr/content/uploads/2020/12/document-presentation-commission-locale-information-cli-centrale-nucleaire-bugey-cnpe-reunion-publique-7-decembre-2020.pdf.

119 La centrale nucléaire du Bugey. Électricité de France (EDF) (2022). Consulté le 05/12/2022. Disponible à l'adresse : https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-bugey.

120 Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Bugey. Électricité de France (EDF) (2019). 66 p. Disponible à l'adresse : https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/carte-des-implantations/centrale-bugey/surete-et-environnement/20200619_bugey-rapporttsn-2019.pdf.

121 Rapport Transparence et Sécurité Nucléaire du CEA Cadarache. Commissariat à l'énergie atomique (CEA) (2019). 84 p. Disponible à l'adresse : https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/rapports/transparence-securite-nucleaire/rapport-tsn-cea-cadarache-2019.pdf.

122 Rapport transparence et sécurité nucléaire : INB exploitées par le CEA Marcoule. Commissariat à l'énergie atomique (CEA) (2019). 52 p. Disponible à l'adresse : https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/rapports/transparence-securite-nucleaire/rapport-tsn-cea-marcoule-2019.pdf.

123 Transport des colis de déchets HA-MAVL depuis les sites expéditeurs vers Cigéo - PNGMDR 2016-2018. Commissariat à l'énergie atomique (CEA); AREVA; Électricité de France (EDF) (2018). Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2016-2018/Transport-des-colis-de-dechets-HA-MAVL-depuis-les-sites-expediteurs-vers-Cigeo-CEA-EDF-Orano?

124 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.

125 Post-closure safety case for geological repositories: nature and purpose. OCDE; Nuclear Energy Agency (NEA) (2004). N°NEA 3679. 56 p. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2004/nea3679-closure.pdf.

126 Décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives (Article 8). Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables (2007). Journal officiel de la République française. Vol. 3, N°255.

127 Décret n°2019-190 du 14 mars 2019 codifiant les dispositions applicables aux installations nucléaires de base, au transport de substances radioactives et à la transparence en matière nucléaire (2019). Journal officiel de la République française.

128 Lettre CODEP-DRC-2014-039834 du 19 décembre 2014 relative au dossier d'options de sûreté du projet CIGEO. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2014). N°CODEP-DRC-2014-039834.

129 The French R&D Programme on Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: An International Peer Review of the "Dossier 2001 Argile". OCDE; Nuclear Energy Agency (NEA) (2003). 77 p. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2003/nea4432-andraeng.pdf.

130 Borloo, J.-L. Lettre du 9 mars 2010 : Accord sur poursuites investigations ZIRA (Zone Implantation Reconnaissance Approfondie). Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2010).

131 Stockage réversible profond - Étape 2009. Options de conception du stockage en formation géologique profonde. Andra (2010). Document N°DCOM/DIR/10-0109. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-01/394.pdf.

132 Stockage réversible profond - Étape 2009. Options de réversibilité du stockage en formation géologique profonde. Andra (2010). Document N°DCOM/DIR/10-0108. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-01/393.pdf.

133 Stockage réversible profond - Étape 2009. Options de sûreté du stockage en formation géologique profonde. Andra (2010). Document N°DCOM/DIR/10-0107. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-01/392.pdf.

134 Avis n°2011-AV-129 du 26 juillet 2011 de l'Autorité de sûreté nucléaire sur le dossier relatif au stockage réversible profond des déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2011). 3 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2011-AV-129-de-l-ASN-du-26-juillet-2011.

135 Avis n°2013-AV-0179 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 mai 2013 sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013). 6 p. Disponible à l'adresse : http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2013-AV-0179-de-l-ASN-du-16-mai-2013.

136 Dossier "Projet Cigéo – Esquisse Jesq03 (2012) – Document de synthèse des évolutions par rapport au Dossier 2009 et impact sur la sûreté". Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013), N°CODEP-DRC-2013-033414.

137 Dossier "projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde - ouvrages de fermeture". Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2014), N°CODEP-DRC-2014-039040.

138 Lettre CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015 relative au dossier « projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde - maîtrise des risques en exploitation au niveau esquisse du projet Cigéo ». Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2015). N°CODEP-DRC-2015-004834.

139 Projet de stockage Cigéo - Examen du Dossier d'Options de Sûreté - Tome 1. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2017). N°IRSN 2017-00013-1. 243 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/Documents/Dechets/IRSN_Rapport-2017-0013_GPDOS-Cigeo_Tome-1.pdf.

140 Projet de stockage Cigéo - Examen du Dossier d'Options de Sûreté - Tome 2. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2017). N°IRSN 2017-00013-2. 209 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/Documents/Dechets/IRSN_Rapport-2017-0013_GPDOS-Cigeo_Tome-2.pdf.

141 Avis délibéré de l'Autorité environnementale sur le centre de stockage Cigéo (52-55). Autorité environnementale (2021). N°Ae 2020-79. 56 p. Disponible à l'adresse : http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/210113_cigeo_52_55_delibere_cle26329f.pdf.

142 Dossier de concertation sur la phase industrielle pilote de Cigéo. Andra (2021). Document N°DDP/DICOM/21-0001. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/89bf5a91e232a401be57b1a65dd07c58b0975caf.pdf.

143 Décision du 21 février 2020 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 (ASN) (2020). Journal officiel de la République française.

144 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 20 - Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-PDD-AMOA-SDR-0000-19-0002.

145 Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Assemblée nationale; Sénat (2015). Journal officiel de la République française. Vol. 1, N°0189, pp.14263.

146 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (version consolidée au 21 octobre 2019) (2019).

147 Concertation post-débat public sur Cigéo - Thème : Cycle de l'eau - Bilan Andra de la concertation sur les rejets d'effluents liquides (mars 2018 à juin 201. Andra (2019). Document N°PUBLI/19-2408. Disponible à l'adresse : https://meusehautemarne.andra.fr/sites/meuse/files/2019-12/concertation%20post%20debat%20public%20cigeo_eau%20VF.pdf.

148 Arrêté du 9 août 2013 portant homologation de la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2013). Journal officiel de la République française, N°193, pp.14278.

149 Décision n°2016-DC-0569 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 septembre 2016 modifiant la décision n°2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement d. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2016).

150 Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes - Guide n°13. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013). 44 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/100753/733560/version/1/file/Guide-de-l-ASN-13.pdf.

151 Le SDAGE 2009-2015 du bassin Seine-Normandie. Préfecture de l'Eure (2015). Consulté le 18/12/2019. Disponible à l'adresse : http://www.eure.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement/Politique-de-l-eau-et-de-la-nature/Eau/Planification/Les-Schemas-directeurs-d-amenagement-et-de-gestion-des-eaux-SDAGE/Le-SDAGE-2009-2015-du-bassin-Seine-Normandie.

152 Arrêté du 23 août 2019 portant homologation de la décision n° 2019-DC-0676 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 juillet 2019 fixant les valeurs limites de rejet dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base n° 103, n° 104, n° 1 (2019). Journal officiel de la République française. Vol. 0202, N°9.

153 Arrêté du 21 août 2006 autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) à effectuer des rejets d'effluents liquides et gazeux et des prélèvements d'eau pour le centre de stockage de l'Aube (installation nucléaire de base n°149). Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2006). Journal officiel de la République française, N°217, pp.13722.

154 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. Assemblée nationale; Sénat (2006). Journal officiel de la République française.

155 Communiqué des décisions de la CNDP du 2 Mars 2005. Commission nationale du débat public (CNDP) (2005).

156 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2012). Journal officiel de la République française.

157 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 14 - Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet de centre de stockage Cigéo. Andra (2022). Document N° CG-TE-D-BLN-AMOA-CM0-0000-19-0041.

158 Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Ministère de l'Écologie et du Développement durable. Gestion des déchets radioactifs - Les suites du débat public. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2006). 36 p. Disponible à l'adresse : https://www.debatpublic.fr/file/1510/download?token=h7QeB8Jr.

159 Dossier 2005 Argile. Tome Architecture et gestion du stockage géologique. Andra (2005). Document N°PUBLI/15-2402. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/268.pdf.

160 Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire 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 (ASN) (2006). Disponible à l'adresse : https://www.cigeo.gouv.fr/sites/default/files/2018-08/AVIS-ASN-dechets-2006-02-01.pdf.

161 Feuille de route de la nouvelle phase de concertation post-débat sur le projet Cigéo - Rendez-vous de partage n°1 - Compte-rendu. Andra (2018). Document N°CMHM/COD/18-0168. Disponible à l'adresse : https://meusehautemarne.andra.fr/sites/meuse/files/2018-06/Cig%C3%A9o_RDV-partage-1503_Compte-renduFINAL.pdf.

162 Décision n°2017/73/CIGEO/7 : projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (projet CIGEO). Commission nationale du débat public (CNDP) (2017).

163 Décision n°2018/50/CIGEO/8 : projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (projet CIGEO). Commission nationale du débat public (CNDP) (2018).

164 Décision n°2022/88/Cigéo/12 : projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (Séance du 6 juillet 2022). Commission nationale du débat public (CNDP) (2022).

165 Meaux, M.-L., Stievenard, J.-M., Vazelle, J.-D. Rapport d'étape des garants : Centre de stockage géologique des déchets radioactifs de haute activité et moyenne activité à vie longue "Cigéo" en Meuse/Haute-Marne - Concertation post débat public novembre 2017 - mai 2020. Commission nationale du débat public (CNDP) (2020). 37 p. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2020-07/Rapport%20d%27%C3%A9tape%20VD1%20mai%2020.concertation%20Cig%C3%A9o%20JDV%20MLM.pdf.

166 Meaux, M.-L., Vazelle, J.-D. Rapport d'activité : Centre de stockage de déchets radioactifs Cigéo - Concertation post débat public. Commission nationale du débat public (CNDP) (2021). 17 p. Disponible à l'adresse : https://www.debatpublic.fr/sites/cndp.portail/files/documents/mission_cigeo_8_rapport_dactivite_mars_2021.pdf.

167 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 14 - Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet de centre de stockage Cigéo. Andra (2022). Document N° CG-TE-D-BLN-AMOA-CM0-0000-19-0041.

168 Meaux, M.-L., Vazelle, J.-D. Second rapport intermédiaire de la concertation continue - Projet Cigéo de stockage géologique des déchets radioactifs : concertation continue post débat public du 28 janvier 2021 au 14 mars 2022. Commission nationale du débat public (CNDP) (2022). 60 p.

169 Loi n°2002-276 du 27 février 2002 relative à la démocratie de proximité (2002). Journal officiel de la République française, pp.3808.

170 Feuille de route de la concertation post-débat public sur le projet Cigéo : deuxième rendez-vous de partage. Andra (2018). Document N°PUBLI/21-2400. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/fac1ab8a165174b08cdbb685a6405194902417f7.pdf.

171 Rendez-vous de partage de la feuille de route de la concertation post-débat public (26 septembre 2019) : compte-rendu. Andra (2019). Document N°CMHM/COD/19-0273. Disponible à l'adresse :

https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/ef057eb93bd719812b3e93d3a80e6b745d4487db.pdf.

172 Rendez-vous de partage de la feuille de route de la concertation post-débat public : compte-rendu (22 septembre 2020). Andra (2020). Document N°CMHM/COD/20-0161. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/96181e1c6ad316bc3378d42e873917bf8c7e1afb.pdf.

173 La participation du public dans la phase d'élaboration du volet gouvernance du plan directeur - Avis. Comité éthique et société auprès de l'Andra (2018). N°DICOD/18-0098. 5 p. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-10/Avis%20participation%20du%20public.pdf.

174 Les principes et modalités de gouvernance proposés pour le plan directeur d'exploitation de Cigéo (Avis). Comité éthique et société auprès de l'Andra (2018). 5 p. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-10/Avis%20principes%20et%20modalites%20gouvernance.pdf.

175 Avis - Contribution sur le projet de gouvernance de Cigéo. Comité éthique et société auprès de l'Andra (2021). 4 p. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2021-11/Avis_contribution_gouvernance%20cigeo.pdf.

176 Contribution du Comité éthique et Société de l'Andra au débat PNGMDR : Quels enjeux éthiques et politiques pour la gestion des déchets radioactifs ? Comité éthique et société auprès de l'Andra (2019). Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2019-11/avis%20CES.pdf.

177 Avis Territoire. Comité éthique et société auprès de l'Andra (2020). 7 p. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2021-01/Avis%20Territoire.pdf.

178 Décret n° 2022-992 du 7 juillet 2022 inscrivant le centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) parmi les opérations d'intérêt national mentionnées à l'article R. 102-3 du code de l'urbanisme. Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française, N°0157.

179 Concertation post-débat public sur Cigéo - Thème : Transports - Bilan Andra de la concertation sur la liaison intersites (LIS) (mars 2018 à novembre 2018). Andra (2019). Document N°PUBLI/19-2409. Disponible à l'adresse : https://meusehautemarne.andra.fr/sites/meuse/files/2019-12/concertation%20post%20debat%20public%20cigeo_liaison%20intersites.pdf.

180 Concertation post-débat public sur Cigéo - Thème : Transports - Bilan Andra de la concertation sur l'installation terminale embranchée (mars 2018 à juin 2018). Andra (2019). Document N°PUBLI/19-2411. Disponible à l'adresse : https://meusehautemarne.andra.fr/sites/meuse/files/2019-12/concertation%20post%20debat%20public%20cigeo_terminale%20embranchee.pdf.

181 Concertation post-débat public sur Cigéo - Thème : Énergie - Bilan Andra de la concertation sur les besoins énergétiques de Cigéo et du territoire -février 2019 à juin 2019). Andra (2019). Document N°PUBLI/19-2410. Disponible à l'adresse : https://meusehautemarne.andra.fr/sites/meuse/files/2019-12/concertation%20post%20debat%20public%20cigeo_energie%20VF.pdf.

182 Concertation Aménagement de l'espace et cadre de vie - Réunion publique - Synthèse, 27 octobre 2020 - Compte-rendu. Andra (2020). Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/8152e7ce9af35ec8d4ea0bd8531fe685119e3803.pdf.

183 Meaux, M.-L. Bilan de la garante - Mise en compatibilité de documents d'urbanisme (Meuse) avec le projet de stockage Cigéo : Concertation préalable du 6 janvier au 14 février 2020. Commission nationale du débat public (CNDP) (2020). Disponible à l'adresse : http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/concertation_mecdu_cigeo_bilan_de_la_garante_.pdf.

184 Concertation préalable relative à la mise en compatibilité des documents d'urbanisme avec le projet de centre de stockage Cigéo : enseignements et suites données par le Ministère de la transition écologique et solidaire. Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2020). Disponible à l'adresse : http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/enseignements_et_suites_donnees_a_la_concertation_par_le_mtes.pdf.

185 Décision n°2019/151/RACC ELEC CIGEO/3 du 2 octobre 2019 relative au projet de raccordement électrique haute tension de CIGÉO (55). Commission nationale du débat public (CNDP) (2019). Journal officiel de la République française, N°0233.

186 Courrier du 24 février 2022 - Raccordement au réseau public de transport d'électricité (RPT) des installations de Cigéo de l'Andra - création d'un poste 400/90 KV et de ses raccordements. Préfet de la Meuse (2022). 6 p.

187 Décision n°2021/3/SNCF CIGEO (55)/1 : projet de réhabilitation de la ligne ferroviaire Nançois-Tronville - Gondrecourt-le-Château visant à faciliter la desserte du projet Cigéo (55). Commission nationale du débat public (CNDP) (2021).

188 Concertation sur le projet de déviation RD 60/960. Département de la Haute-Marne (2022). Consulté le 22/04/2022. Disponible à l'adresse : https://haute-marne.fr/accueil/l-institution/les-services-departementaux/enquetes-publiques/concertation-sur-le-projet-de-deviation-rd-60-960/#:~:text=Le%20projet%20de%20d%C3%A9viation%20de%20la%20RD%2060%2F960%20a,et%20des%20principales%20contraintes%20existantes.

189 Bilan des concertations sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du projet Cigéo. Andra (2022). Document N°DDP\DICOM\22-0045. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/503b5d7999391f0987eb068549b3939a5aecc816.pdf.

190 Synthèse : la phase industrielle pilote de Cigéo. Andra (2021). Document N°DDP/DICOM/21-0015. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/19b70969df7aeabb2ec5046c257169b45d76dc39.pdf.

191 Concertation sur la phase industrielle pilote de Cigéo (PHIPIL) - Compte-rendu intégral de la réunion publique en ligne - DGEC/Andra, réunion publique du 28/01/2021. Andra (2021). Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/c23f7e04cc347fb08b6c7a4ba4e456a6a030ee0f.pdf.

192 Conférence de citoyens sur la phase industrielle pilote de Cigéo - Avis citoyen. Andra (2021). Document N°DDP/DICOM/21-0066. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/177940586d15900911ec3cf5deb046ab60c369cb.pdf.

193 DGEC/Andra, réunion publique du 14/02/2022 - Projet Cigéo : retour sur les concertations sur la phase industrielle pilote et la gouvernance (compte-rendu intégral de la réunion publique en ligne). Andra (2022). Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/508e49843a9a572a4c3270169cd283de23687d8b.pdf.

194 Dossier de concertation sur la gouvernance du centre de stockage Cigéo. Andra (2021). Document N°DDP/DICOM/21-0034. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2021-05/Dossier%20de%20concertation%20-%20Gouvernance%20Cig%C3%A9o_web_HD.pdf.

195 Synthèse : la gouvernance du centre de stockage Cigéo. Andra (2021). Document N°DDP/DICOM/21-0036. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/7f9c0287b64b15e7908a0ad2fec877757f1cdd1c.pdf.

196 Ordonnance n°2016-1058 du 3 août 2016 relative à la modification des règles applicables à l'évaluation environnementale des projets, plans et programmes. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2016). Journal officiel de la République française. Vol. 10, N°0181.

197 Décision n°2018/25/PNGMDR/1 du 4 avril 2018 relative à la cinquième édition du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs. Commission nationale du débat public (CNDP) (2018). Journal officiel de la République française. Vol. 83, N°CNPX1809564S.

198 Jouanno, C. Débat public sur le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs du 17 avril au 25 septembre 2019 : bilan de la présidente. Commission nationale du débat public (CNDP) (2019). 4 p. Disponible à l'adresse : https://pngmdr.debatpublic.fr/images/bilan-cr/PNGMDR-bilan.pdf.

199 Synthèse de la concertation post-débat public sur le cinquième Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) - Bilan final septembre 2021. Ministère de la Transition écologique (2021). 57 p. Disponible à l'adresse : https://www.concertation-pngmdr.fr/sites/default/files/documents/pngmdr_bilan_final_concertation.pdf.

200 Barthe, I., Meaux, M.-L., Quévremont, P. Rapport des garant.e.s - 5ème plan national de gestion des matières et déchets radioactifs - Concertation post débat public - 11 septembre 2020 – 13 avril 2021. Commission nationale du débat public (CNDP) (2021). 86 p. Disponible à l'adresse : https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2021-07/RAPPORT%20GARANTS%20POST%20PNGMDR%20d%C3%A9finitif%20%2020210726-1.pdf.

201 Barthe, I., Meaux, M.-L., Quévremont, P. Rapport des garant.e.s en vue de la consultation publique - Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs - Concertation post-débat public - 17 janvier 2022. Commission nationale du débat public (CNDP) (2022). 104 p. Disponible à l'adresse : https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2022-01/Rapport%20PNGMDR%20VDEF.pdf.

202 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2022-2026 - Version projet. Ministère de la Transition écologique (2022). 100 p. Disponible à l'adresse : https://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/projet_de_pngmdr.pdf.

203 Schéma de cohérence territoriale du Pays Barrois : dossier SCoT approuvé. Pays Barrois (2014). 541 p. Disponible à l'adresse : http://www.paysbarrois.com/les-missions-du-pays-barrois/schema-de-coherence-territoriale-scot/les-documents-du-scot.

204 PLUi Secteur Haute Saulx. Communauté de communes des Portes de Meuse (2019). Consulté le 28/07/2020. Disponible à l'adresse : https://www.portesdemeuse.fr/p-l-u-i/.

205 Commune de Gondrecourt-le-Château - Modification simplifiée du plan local d'urbanisme : notice de présentation et règlement écrit modifié. Auddicé (2018).

206 Ordonnance modificative n°E21000040/54 du 12 juillet 2021 portant désignation de la commission d'enquête publique. Présidente du tribunal administratif de Nancy (2021).

207 Arrêté inter-préfectoral n°2021-2068 du 9 août 2021 portant ouverture d'une enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique (DUP) du projet de centre de stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs en HA et MA-VL (Cigéo). Préfet de la Haute-Marne; Préfet de la Meuse (2021), N°2021-2068.

208 Rapport de la commission d'enquête, du 15 septembre au 23 octobre 2021 - Enquête publique préalable à la Déclaration d'Utilité Publique (DUP) du projet de centre de stockage en couche géologique profonde des déchets de haute et moyenne activité à vie longue (Cigéo), emportant la mise en compatibilité des documents d'urbanisme suivants (MECDU) : le Schéma de cohérence Territoriale (SCoT) du Pays Barrois, le Plan local d'urbanisme intercommunal (PLUi) de la Haute-Saulx, le plan local d'urbanisme (PLU) de Gondrecourt-le-Château. Département de la Haute-Marne; Département de la Meuse (2021). 241 p. Disponible à l'adresse : https://www.registre-numerique.fr/dup-cigeo/voir?rapport=611.

209 Conclusions générales et avis motivés sur la Déclaration d'utilité publique (DUP), la Mise en compatibilité des documents d'urbanisme (MECDU) concernant le projet de centre de stockage en couche géologique profonde des déchets de haute et moyenne activité à vie longue (Cigéo) - Enquête publique du 15 septembre au 23 octobre 2021. Département de la Haute-Marne; Département de la Meuse (2021). 43 p. Disponible à l'adresse : https://www.registre-numerique.fr/dup-cigeo/voir?rapport=610.

210 Démarche de l'Andra pour l'information et la participation du public post dépôt DAC Cigéo - HCTISN, Groupe de suivi Concertation projet Cigéo, 27 septembre 2022. Andra (2022). Document N°DDP/DIR/22-0039. Disponible à l'adresse : http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/4_andra_feuille_de_route_concertation_post_depot_dac_-_porjet_de_presentation_pour_le_gs_hctisn_du_27_septembre_2022.pdf.

211 Groupe de suivi "Concertation Projet Cigéo". Haut comité sur la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) (2021). Consulté le 03/11/2022. Disponible à l'adresse : http://www.hctisn.fr/groupe-de-suivi-concertation-projet-cigeo-r67.html.

212 Recommandations relatives à la participation du public au projet Cigéo. Haut comité sur la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) (2020). Disponible à l'adresse : http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/Avis_adopte_HCTISN_Concertation_Cige_o_28_09_20_cle0c16fb.pdf.

213 Rapport d'évaluation n°16. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2022). 94 p. Disponible à l'adresse : https://cne2.fr/telechargements/RAPPORT_CNE2_16_2022.pdf.

214 Règlement (UE) n°517/2014 du Parlement européen et du Conseil du 16 avril 2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n°842/2006. Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2014). Journal officiel de l'Union européenne, N°L150, pp.195–230.

215 Règlement (CE) n°1005/2009 du Parlement européen et du Conseil du 16 septembre 2009 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (refonte). Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2009). Journal officiel de l'Union européenne.

216 Directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) (refonte). Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2010). Journal officiel de l'Union européenne, N°L334.

217 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 5 - Plans détaillés de l'installation à l'échelle 1/2 500e. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CM0-0000-21-0004.

218 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 13 - Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-PDG-AMOA-OBS-0000-19-0001.

219 Lignes électriques aériennes dépassant 1 kV en courant alternatif - Partie 1 : exigences générales - Spécifications communes. AFNOR (2015), NF EN 50341-1.

220 Arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique (2001). Journal officiel de la République française, N°134.

221 Sécurisation de la ligne à 400 000 volts Houdreville - Méry : étude environnementale. Réseau de transport électrique (RTE) (2020).

222 Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (2000). Journal officiel des Communautés européennes, N°L327.

223 Étude de restructuration du SIAEP de la région d'Échenay pour une alimentation depuis les sources de Thonnance (rapport d'étude, version définitive). Andra (2018). Document N°CMHM/IT-CA-20-0036.

224 Arrêté du 29 mai 2009 relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit "arrêté TMD") (2009). Journal officiel de la République française, N°147, pp.10735.

225 Décret n°2010-402 du 23 avril 2010 autorisant Électricité 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°97, pp.7561.

226 L'archéologie préventive en France : les étapes du diagnostic. INRAP (2020). Consulté le 26/05/2020. Disponible à l'adresse : https://www.inrap.fr/les-etapes-du-diagnostic-9721%20.

227 L'archéologie préventive en France : les étapes de la fouille. INRAP (2020). Consulté le 26/05/2020. Disponible à l'adresse : https://www.inrap.fr/les-etapes-de-la-fouille-9722.

228 Avis n°2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2016). 3 p. Disponible à l'adresse : http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2015-AV-0227-de-l-ASN-du-10-fevrier-2015.

229 Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2015). Journal officiel de la République française. Vol. 2, N°0190.

230 Décret n°2021-837 du 29 juin 2021 portant diverses réformes en matière d'évaluation environnementale et de participation du public dans le domaine de l'environnement. Premier ministre (2021). Journal officiel de la République française.

© Andra • Décembre 2022 • Création graphique : Agence Les Récréateurs • Crédit photo : 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