ANDRA.398.C

DOCUMENT TECHNIQUE

PROJET NOUVEAU NUCLÉAIRE FRANÇAIS

EVALUATION DE L'IMPACT SUR LES FILIÈRES DE GESTION DES DÉCHETS

Identification
ZNTADG2 10022

08/07/2021

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

SOMMAIRE

1. Introduction 3

2. Les stratégies de retraitement du combustible usé étudiées dans le projet NNF 3

3. L'évaluation de l'impact du projet NNF sur les filières de gestion opérationnelles des déchets TFA et FMA-VC 4

3.1 Les quantitatifs et caractéristiques des déchets TFA et FMA-VC produits 5

3.2 L'impact sur les stockages 5

3.2.1 Les capacités radiologiques et physico-chimiques 5

3.2.2 Les capacités volumiques 5

4. L'évaluation des conséquences du projet NNF sur la filière de gestion des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) 6

4.1 Les déchets HA et MA-VL produits par les 6 réacteurs EPR2 6

4.2 L'impact sur le centre de stockage Cigéo des déchets HA et MA-VL produits par les 6 réacteurs EPR2 8

4.2.1 L'impact du projet NNF sur la conception du centre de stockage Cigéo 8

4.2.2 L'impact du projet NNF sur la date de fermeture définitive du centre de stockage Cigéo 9

4.2.3 L'impact du projet NNF sur les évaluations de sûreté de l'INB du centre de stockage Cigéo 10

5. Conclusion 11

1. Introduction

Dans le cadre de l'évaluation par l'Etat de la faisabilité de déployer en France, dans les décennies à venir, jusqu'à six réacteurs électronucléaires supplémentaires de type EPR2, étudiée au travers du projet de Nouveau Nucléaire Français (NNF), la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) a demandé à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) d'analyser l'impact des déchets radioactifs générés par le potentiel déploiement de ces réacteurs pour les filières de gestion à long terme, opérationnelles ou en projet. L'analyse menée par l'Andra repose sur les données relatives aux déchets radioactifs présentées par EDF dans son dossier de proposition récemment remis à l'Etat.

La présente étude, menée par l'Andra, analyse l'impact des déchets radioactifs générés par le projet NNF sur les filières de stockage opérationnelles ou en projet, qui sont actuellement dimensionnées pour le stockage des déchets issus des installations nucléaires autorisées. En conclusion, cette étude démontre une faisabilité de principe du stockage des déchets radioactifs générés par le projet NNF **au regard des enjeux de sûreté à court et à très long terme**, sur la base des données transmises par EDF.

Les enjeux de la gestion à long terme des déchets radioactifs générés par le projet NNF sont à mettre en regard des dates prévisionnelles de mise en stockage de ces déchets. En effet, ce projet pourrait conduire à la mise en service de 6 réacteurs EPR2, par paires espacées de 4 ans, entre 2035 et 2044 avec une durée d'exploitation envisagée de 60 ans. Les déchets de démantèlement seraient alors produits à la fin du siècle en cours et le stockage des déchets de haute activité ne se ferait pas avant le début du siècle prochain.

Dans le cas où la création de tout ou partie des 6 réacteurs EPR2 viendrait à être autorisée, des études d'esquisse puis d'avant-projet seront à prévoir par l'Andra, sur la base de données techniques affinées, afin de déposer auprès des autorités compétentes les dossiers réglementaires nécessaires à l'obtention des autorisations de mise en stockage des déchets induits A cet égard, il convient de souligner que la présente évaluation technique ne préjuge pas des processus règlementaires et démocratiques requis.

2. Les stratégies de retraitement du combustible usé étudiées dans le projet NNF

La nature et les quantités de déchets produits par l'industrie électronucléaire dépendent en grande partie de la stratégie de retraitement mise en œuvre. Les stratégies de retraitement du combustible usé étudiées sont :

- le **« multi-recyclage »** : stratégie industrielle de référence d'EDF, consistant à retraiter la totalité des combustibles usés quel que soit leur type et générant ainsi des déchets vitrifiés et des déchets de structure issus du retraitement, cette option prend en compte un traitement de l'ensemble des combustibles incluant les combustibles MOX (Mixed OXide[1]) ;
- le **« mono-recyclage »** : consistant d'une part à retraiter uniquement les combustibles de type UNE (Uranium Naturel Enrichi), ce qui génère des déchets vitrifiés et des déchets de structure issus du retraitement et, d'autre part, à requalifier en déchets les combustibles usés de type URE (Uranium de Retraitement Enrichi) et MOX ;
- l'**« arrêt du recyclage »** consistant à stopper celui-ci lors de l'arrêt des derniers réacteurs chargés en combustibles MOX. Cette stratégie génère des déchets vitrifiés et des déchets de structure issus du retraitement des combustibles de type UNE avant que le retraitement ne s'arrête, et des combustibles usés de type UNE, URE et MOX qualifiés alors de combustibles usés.

Ces différentes stratégies conduisent donc :

- à la production de déchets de haute activité (**HA)**, pouvant être des déchets vitrifiés issus du retraitement et/ou des combustibles usés selon les stratégies de retraitement ;

[1] Combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium.

- à la production de déchets de moyenne activité à vie longue (**MA-VL)** composés des déchets de structure issus du retraitement des combustibles usés, des déchets activés et/ou contaminés d'exploitation et de démantèlement des réacteurs et des autres installations du cycle (composants divers situés au cœur du réacteur, outillages, équipements métalliques, effluents, etc.) ;
- à la nécessité de stocker, pour certaines stratégies impliquant un arrêt ou une limitation du recyclage, des combustibles usés alors requalifiés en déchets.

La prise en compte de ces différentes stratégies permet donc d'étudier l'impact, sur les filières de gestion à long terme des déchets, de la mise en service de nouveaux réacteur de types EPR en couvrant différentes options en termes de production de déchets

Par ailleurs, quelle que soit la stratégie, est également prise en compte la production de déchets de faible et moyenne activité à vie courte (**FMA-VC)** et de très faible activité **(TFA)** issus de l'exploitation et du démantèlement des réacteurs et des autres installations du cycle (matériels électromécaniques, déchets d'assainissement des structures, déchets technologiques, terres de remise en état des sites, etc.).

Une évaluation prospective des inventaires de déchets générés par les installations du cycle selon les différentes stratégies de retraitement du combustible usé et pendant toute la durée de leur exploitation a été réalisée par les producteurs de déchets dans le cadre de l'édition 2018 de l'Inventaire national. Dans le cadre du projet NNF, EDF a mis à jour cette évaluation prospective des quantitatifs de déchets générés par le parc actuel composé de 58 réacteurs REP (dont deux sont désormais à l'arrêt) ainsi que de l'EPR de Flamanville dont la mise en service est à venir. Cette mise à jour intègre les conclusions de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) votée en 2019 ainsi que les dernières évolutions de stratégie industrielle, notamment en termes de calendrier de fermeture de centrales, de moxage de réacteurs de 1300 MWe et de reprise du recyclage de l'uranium de retraitement (URT).

L'évaluation prospective des inventaires de déchets générés par l'exploitation éventuelle de 6 réacteurs EPR2 du projet NNF a été réalisée sur la base de cette mise à jour des inventaires du parc actuel et en retenant le déploiement de 6 réacteurs EPR2 par paires espacées de 4 ans entre 2035 et 2044, ainsi qu'une durée d'exploitation des réacteurs EPR2 de 60 ans. Hormis les 6 réacteurs EPR2, il est supposé à ce stade que le projet NNF n'impliquera pas de mise en service de nouvelle installation de gestion du cycle du combustible et ne génèreront donc pas de déchets de démantèlement supplémentaires pour ces installations.

3. L'évaluation de l'impact du projet NNF sur les filières de gestion opérationnelles des déchets TFA et FMA-VC

Les déchets FMA-VC sont actuellement stockés au centre de stockage de l'Aube (CSA) qui dispose d'une autorisation de stockage de 1 000 000 m^3 de colis de déchets. Au 31 décembre 2020, le volume de déchets stockés s'élève à 353 147 m^3, soit 35 % de la capacité autorisée.

Les déchets TFA sont, quant à eux, stockés au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires), également implanté dans l'Aube, qui dispose d'une autorisation de stockage de 650 000 m^3 de colis de déchets. Une demande d'augmentation de cette capacité est en cours de préparation et vise à porter celle-ci aux alentours de 900 000 à 950 000 m^3. D'ores et déjà, compte tenu des volumes de déchets TFA qui seront produits par le démantèlement des installations existantes, le besoin d'un nouveau stockage prenant la suite du CIRES est avéré aux environs de 2045.

Concernant ces impacts éventuels, l'Andra les a examinés en termes de capacités de stockage tant sur les plans physico-chimique et radiologique que volumique.

3.1 Les quantitatifs et caractéristiques des déchets TFA et FMA-VC produits

Les données fournies par EDF montrent que les quantitatifs des déchets FMA-VC et TFA issus des centrales nucléaires sont indépendants de la stratégie de retraitement des combustibles usés considérée. Les ratios de déchets d'exploitation FMA-VC et TFA produits par réacteur de type EPR2 sont considérés identiques à ceux des réacteurs du parc actuel. Leurs caractéristiques physico-chimiques sont également, en première approche, les mêmes que celles des déchets produits par le parc actuel. Ces hypothèses sont raisonnables compte tenu de la nature des EPR2 qui sont de même nature que ceux du parc actuel (réacteurs à eau pressurisée).

Les volumes estimés de déchets radioactifs FMA-VC et TFA conditionnés qui seront produits sur l'ensemble du cycle de vie de 6 réacteurs EPR2, en considérant 60 ans d'exploitation, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Catégorie	Exploitation	Démantèlement	Total
FMA-VC	40 200 m³	58 200 m³	98 400 m³
TFA	23 400 m³	96 000 m³	120 000 m³

3.2 L'impact sur les stockages

3.2.1 Les capacités radiologiques et physico-chimiques

Les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques des déchets sont identiques à celles du parc actuel quel que soit le scénario retenu. En conséquence, il est fait l'hypothèse que les colis de déchets produits respecteront les mêmes spécifications d'acceptation des colis qu'aujourd'hui pour qu'ils soient acceptés et pris en charge sur chaque centre. Aussi, sur cet aspect, le déploiement de 6 réacteurs supplémentaires n'induit pas de nouvelle problématique. Par ailleurs, des augmentations de capacité radiologique pour certains radionucléides ont d'ores et déjà été identifiées pour l'accueil des déchets du parc actuel et ne sont pas remises en cause par le déploiement de 6 réacteurs supplémentaires.

3.2.2 Les capacités volumiques

Pour apprécier l'impact sur les capacités de stockage en termes de volume, une chronologie des volumes livrés et des volumes stockés associés a été bâtie au global pour chaque centre de stockage en utilisant les données fournies par EDF (actualisées à fin 2020) et complétées par des livraisons prévisionnelles des autres producteurs et les ratios « livrés / stockés » sur la base du retour d'expérience.

Pour ce qui concerne les déchets TFA, les volumes supplémentaires générés par le déploiement des 6 réacteurs EPR2 restent relativement faibles au regard des volumes prévus jusqu'aux années 2100 et peuvent être absorbés dans le cadre de l'exploitation du Cires, puis du futur centre de stockage TFA qui aura à prendre sa relève. En outre, ce faible surplus n'avancerait que de quelques mois (3 à 4) l'atteinte de la capacité autorisée prévue (vers 2045) du Cires et n'aurait donc pas d'impact sur les plannings à venir.

Concernant les déchets FMA-VC, on constate que les chroniques de livraison restent peu ou prou du même ordre de grandeur dans le cadre de la prise en compte du projet NNF. Sur ces bases, l'atteinte de la capacité autorisée du CSA interviendrait aux alentours de 2060, échéance peu différente de celle envisagée aujourd'hui et avec un écart d'environ 12 mois entre les deux scénarios.

Pour autant, et indépendamment des flux induits par les 6 réacteurs EPR2, les flux annoncés par EDF dans la décennie 2051-2060 apparaissent très importants (25 000 m³ en moyenne pour moins de 15 000 m³ dans les périodes précédentes). Afin de garantir la capacité des installations à prendre en charge ces déchets, des chroniques plus fines seront nécessaires pour cette période et la suivante (17 000 m³ en moyenne) prenant en compte les scénarios possibles de conditionnement et de régulation des flux, tant pour appréhender la capacité d'absorption de ces flux par les installations de stockage que pour

prévoir, le cas échéant, les besoins du site de stockage qui sera alors en exploitation (CSA ou site qui prendra sa relève après saturation de ses capacités).

4. L'évaluation des conséquences du projet NNF sur la filière de gestion des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

La solution étudiée pour la gestion des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) est le stockage dans Cigéo. Le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de ce centre de stockage est en cours d'élaboration par l'Andra pour un dépôt en 2022. Il prévoit le début de la mise en stockage des déchets MA-VL à l'horizon 2035 et celui des déchets HA à l'horizon 2080.

Tel que prévu par le code de l'environnement (article D.542-90), l'Andra demandera l'autorisation de création de Cigéo pour le stockage des déchets HA et MA-VL en s'appuyant sur une conception initiale basée sur un inventaire de référence et présentera dans le dossier les études d'adaptabilité relatives au stockage d'un inventaire de réserve. Ainsi, la conception de référence présente un caractère évolutif afin de prendre en compte les évolutions de la politique énergétique nationale, en particulier en termes d'inventaire.

L'inventaire de référence défini par l'Andra correspond à la production des déchets issus du fonctionnement et du démantèlement des installations nucléaires en exploitation ou disposant à ce jour d'une autorisation de création, dans un scénario de poursuite de la production électronucléaire avec une hypothèse de durée de fonctionnement moyenne des installations électronucléaires en service de 50 ans, et de retraitement de la totalité des combustibles usés produits par ces installations (stratégie de multi-recyclage à terme telle que prévue par la PPE 2019-2028). Les déchets qui seront produits par l'exploitation des installations nucléaires en cours de construction (notamment l'EPR de Flamanville, mais aussi le RJH du CEA et ITER) sont également pris en compte.

L'Andra a également retenu à date un inventaire de réserve, introduit par l'article D.542-90 du code de l'environnement et qui vise à couvrir, entre autres, le maintien d'une stratégie de mono-recyclage et la stratégie d'arrêt du recyclage ainsi que l'impact de l'allongement de la durée de fonctionnement d'environ 10 ans des réacteurs électronucléaires en service par rapport à celle de 50 ans prise en compte pour établir l'inventaire de référence. Suivant le même principe que celui exposé au §2 du présent rapport, cet inventaire de réserve s'appuie sur différents scénarios prospectifs, notamment en matière de recyclage du combustible.

L'Andra réalise des études d'adaptabilité de Cigéo au stockage de cet inventaire de réserve. Ces études incluent notamment la prise en compte des combustibles usés et répondent aux articles R. 593-14 à R. 593-19 du code de l'environnement qui demandent explicitement la prise en compte dans le dossier de demande d'autorisation de création, de la réversibilité du stockage. A ce titre, l'Andra présentera notamment au travers de ces études « adaptabilité » qui seront jointes au dossier de DAC la démonstration que la conception préserve la possibilité technique d'accueillir les déchets de l'inventaire de réserve et les éventuelles adaptations de Cigéo qui seraient nécessaires dans cette éventualité. Si au cours de l'exploitation du centre de stockage Cigéo, la 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.

4.1 Les déchets HA et MA-VL produits par les 6 réacteurs EPR2

De façon similaire au parc de réacteurs électronucléaires actuel, l'exploitation de 6 réacteurs EPR2 et le fonctionnement des installations du cycle génèreraient des déchets MA-VL, ainsi que des déchets HA et/ou des combustibles usés selon les stratégies de recyclage retenues (§ 2).

En effet, dans le cas du retraitement du combustible usé, les éléments non valorisables issus de la fission nucléaire en réacteur (produits de fission et actinides mineurs) sont vitrifiés et coulés dans des conteneurs en acier inoxydable, appelés Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés (CSD-V), constituant

des déchets de haute activité (HA). Les éléments métalliques de structure issus de l'assemblage combustible (coques, embouts, morceaux de gaines, etc.) sont quant-à-eux compactés et conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable, appelés Conteneurs Standards de Déchets Compactés (CSD-C), et constituent des déchets de catégorie MA-VL.

Il est considéré que l'exploitation des 6 réacteurs EPR2 du projet NNF génèrera des déchets de catégorie **MA-VL** de caractéristiques géométriques, physico-chimiques, radiologiques et thermiques identiques à celles des déchets MA-VL générés par le parc actuel et étudiés dans le cadre du dossier de DAC de l'INB du centre de stockage Cigéo. Les quantitatifs de déchets MA-VL produits par l'exploitation de 6 réacteurs EPR2 varient en fonction de la stratégie de retraitement du combustible considérée et sont présentés dans le tableau suivant :

Types de déchets MA-VL	Volumes estimés de déchets produits par l'exploitation des 6 EPR2		
	Multi-recyclage	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
CSD-C	1 273 m³	710 m³	0 m³
Déchets activés et/ou contaminés d'exploitation et de démantèlement des réacteurs EPR2 et des autres installations du cycle[2]	2 678 m³	3 219 m³	2 574 m³
TOTAL	**3 951 m³**	**3 929 m³**	**2 574 m³**

A titre de comparaison, l'évaluation prospective du volume de déchets MA-VL généré par le parc actuel pour une durée de fonctionnement de 50 ans des installations et associé au scénario de multi-recyclage des combustibles usés (scénario SR2) de l'édition 2018 de l'Inventaire National est d'environ 73 000 m³[3] ; tous scénarios confondus, le volume de déchets MA-VL produits par les 6 EPR2 représenterait au plus de l'ordre de 5 % de ce volume. L'inventaire des déchets associé au scénario de multi-recyclage sera réactualisé lors de la prochaine édition de l'Inventaire National en 2023 notamment afin de prendre en compte les évolutions de la PPE.

Les **déchets vitrifiés HA** produits dans le cadre du projet NNF auront les mêmes caractéristiques géométriques et chimiques que ceux étudiés dans le cadre du dossier de DAC de l'INB du centre de stockage Cigéo et présentent des caractéristiques radiologiques et thermiques comparables. Les quantitatifs de déchets vitrifiés HA produits par l'exploitation des 6 réacteurs EPR2 sont donnés dans le tableau ci-après en fonction des différentes stratégies de retraitement du combustible :

Types de déchets HA	Volumes estimés de déchets produits par l'exploitation des 6 EPR2		
	Multi-recyclage	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
CSD-V	1 872 m³	971 m³	0 m³

A titre de comparaison, l'évaluation prospective du volume de déchets HA généré par le parc actuel pour une durée de fonctionnement de 50 ans des installations associé au scénario de multi-recyclage des combustibles usés (scénario SR2) de l'édition 2018 de l'Inventaire national est de près de 10 000 m³[4] : tous scénarios confondus, le volume de déchets HA issus de l'exploitation des 6 EPR2 en représenterait moins de 20 % de ce volume.

Les quantitatifs de **combustibles usés** produits par 6 réacteurs EPR2 et pouvant être requalifiés en déchets dans le cadre des stratégies d'arrêt du recyclage et de mono-recyclage[5] du projet NNF sont donnés dans le tableau suivant :

[2] Hormis les 6 réacteurs EPR2, il est supposé que les scénarios NNF n'impliqueront pas de mise en service de nouvelles unités sur le reste du cycle du combustible et ne génèreront donc pas de déchets de démantèlement supplémentaires.
[3] Le volume total de déchets MA-VL évalué selon le scénario SR2 de l'édition 2018 de l'IN, comprenant outre le secteur électronucléaire, les secteurs de la Défense nationale et de la recherche, est d'environ 72 000 m³.
[4] Le volume total de déchets HA évalué selon le scénario SR2 de l'édition 2018 de l'IN, comprenant outre le secteur électronucléaire, les secteurs de la Défense nationale et de la recherche, est d'environ 10 000 m³.
[5] Aucun combustible n'est requalifié en déchet dans le cadre de la stratégie de « Multi-recyclage ».

Types de combustibles	Nombres estimés d'assemblages combustibles pouvant être requalifiés en déchets produits par les 6 réacteurs EPR2	
	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
UNE	Sans objet	18 720
URE	5 295	1 358
MOX	3 712	0
Total	9 007	20 078

A titre de comparaison, l'inventaire de réserve de Cigéo comprend près de 58 000 assemblages combustibles REP dans le scénario de non renouvellement du parc électronucléaire après 50 à 60 ans de fonctionnement du parc actuel et l'arrêt du retraitement prévu de façon à ne pas détenir de stock de plutonium séparé.

La majorité de ces combustibles est identique à ceux pris en compte dans les études d'adaptabilité de Cigéo (inventaire de réserve). Seules quelques typologies présentent des caractéristiques légèrement différentes. Il s'agit :

- de combustibles MOX présentant des enrichissements en plutonium très proches mais une longueur d'assemblage combustible un peu plus élevée (environ 18 %) par rapport aux typologies étudiées dans les études d'adaptabilité de Cigéo ;
- de combustibles URE présentant un enrichissement en ^{235}U un peu plus élevé mais des caractéristiques géométriques identiques par rapport à ceux étudiés dans les études d'adaptabilité de Cigéo.

Ces différences de caractéristiques engendrent une activité totale et une puissance thermique un peu plus élevées mais restant dans les mêmes ordres de grandeur que celles prises en compte dans les études d'adaptabilité de Cigéo. Les impacts liés sont présentés au § 4.2.

4.2 L'impact sur le centre de stockage Cigéo des déchets HA et MA-VL produits par les 6 réacteurs EPR2

L'impact du projet NNF sur Cigéo est évalué, lorsque possible, en extrapolant les études menées dans le cadre de l'élaboration du dossier de DAC de Cigéo. Toutefois, des études spécifiques ont été menées pour identifier l'impact des déchets dont certaines caractéristiques ne sont pas couvertes par les études déjà réalisées. L'évaluation menée par l'Andra porte sur les bâtiments de surface de l'installation, les équipements de transfert, et de l'installation souterraine de l'INB du centre de stockage Cigéo.

4.2.1 L'impact du projet NNF sur la conception du centre de stockage Cigéo

Compte tenu de leur similitude avec les colis déjà prévus dans la conception de Cigéo, les colis de **déchets MA-VL** produits par l'exploitation des 6 réacteurs EPR2 du projet NNF ne sont pas de nature à remettre en cause les principes de conception de Cigéo. Ainsi, seuls les impacts directement liés au nombre de colis et à leur chronique de réception ont été évalués : nombre d'alvéoles, adaptations de flux et impacts liés à la durée d'exploitation.

Si les caractéristiques géométriques des colis de **déchets HA et des combustibles usés** sont couvertes par celles des colis des inventaires de référence et de réserve déjà étudiés dans le cadre de l'élaboration du dossier de DAC de Cigéo et ne nécessitent à ce titre aucune adaptation dimensionnelle, certains colis de déchets ont des inventaires radiologiques et des caractéristiques thermiques qui ne sont pas couverts par les études menées précédemment. C'est le cas notamment pour les combustibles ayant des taux d'enrichissement plus importants que ceux déjà étudiés.

Globalement, les études menées sur les déchets HA générés par 6 réacteurs EPR2 ne conduisent pas, à ce stade, à l'identification d'impacts majeurs sur les principes de conception des bâtiments de surface, des équipements de transfert, et de l'installation souterraine. Toutefois, la durée de décroissance de la puissance résiduelle en entreposage des combustibles usés les plus exothermiques[6] devrait être

[6] Combustibles usés MOx avec un taux d'enrichissement de 9 % ou 9,54 % en Pu.

prolongée de 20 ans par rapport à celle des combustibles usés les plus exothermiques étudiés dans le cadre du projet Cigéo, et ce afin de respecter les critères de préservation de la roche (critère de température et critère de rupture thermo-hydromécanique).

La prise en compte des déchets HA et des combustibles usés générés par 6 réacteurs EPR2 a un impact sur l'emprise des ouvrages souterrains et en particulier du quartier de stockage HA de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo (inventaire de référence). En effet, en raison d'une part de la thermicité des combustibles usés et d'autre part de l'augmentation du nombre de colis de déchets HA, le stockage de ceux-ci conduira à augmenter significativement l'emprise du stockage. Cette augmentation varie selon les stratégies de recyclage considérées et se situe entre 20 % et 40 % par rapport au stockage de l'inventaire des déchets du parc actuel mis à jour en 2021 par EDF (cf. § 2).

Si cette augmentation ne présente pas de sujet rédhibitoire identifié à ce stade, au-delà de l'impact direct sur les coûts, l'emprise augmentée peut avoir des impacts notamment sur la conception ou sur l'allongement de la durée de fonctionnement de Cigéo, sujet plus général, développé dans le § 4.2.2.

En effet, une augmentation significative de l'emprise peut conduire à revoir le dimensionnement de certains équipements : c'est par exemple le cas pour la ventilation dont le dimensionnement est fortement impacté par la longueur des galeries à ventiler.

4.2.2 L'impact du projet NNF sur la date de fermeture définitive du centre de stockage Cigéo

Les chroniques de production et d'expédition des déchets considérées dans le cadre du projet NNF, ainsi que les besoins de durées supplémentaires de décroissance de puissance résiduelle pour les colis les plus exothermiques conduisent à un allongement de la phase de fonctionnement de Cigéo.

Des adaptations du flux de réception des colis actuellement retenu pourraient être mises en œuvre sur certaines périodes, mais celles-ci ne seront pas de nature à compenser les augmentations des durées nécessaires au stockage des colis. Par ailleurs, l'augmentation de l'emprise aura des impacts sur la durée de construction de Cigéo, pouvant aussi impacter la durée globale de fonctionnement.

Le stockage des déchets tel que défini dans le projet NNF conduirait ainsi à décaler la date de fermeture définitive du stockage actuellement retenue dans les études d'adaptabilité (horizon 2155) à une date ultérieure. Ce report peut atteindre plusieurs dizaines d'années et les scénarios étudiés montrent qu'il dépend de la stratégie de recyclage mise en œuvre par la nation dans les décennies à venir.

Un allongement de la durée de fonctionnement a des impacts sur les ouvrages de surface, sur les ouvrages souterrains ainsi que sur les équipements. En ce qui concerne les équipements, des jouvences sont déjà prévues pour le stockage de l'inventaire de référence et pourraient donc être opérées de façon similaire pour le stockage des déchets générés par 6 réacteurs EPR2. En ce qui concerne le génie civil, des dispositions de surveillance de long terme prévues dès la construction peuvent permettre d'analyser le besoin ou non de jouvences plus ou moins lourdes :

- Pour l'installation souterraine, compte tenu des conditions d'environnement peu variables et tempérées (pas de cycles gel-dégel et chaud/froid, humidité relative relativement constante et inférieure à 100 %, faible flux d'eau venant de la roche...), l'Andra considère plausible l'hypothèse d'un maintien en service des ouvrages souterrains construits. Cet avis repose sur la connaissance de la durabilité du béton armé, notamment des mécanismes connus de dégradation chimiques et mécaniques des bétons, des spécifications des bétons prévus à ce stade pour la conception et des conditions d'environnement. Par ailleurs, la surveillance périodique des ouvrages, les opérations de jouvence programmées ainsi que les réexamens de sûreté qui jalonneront la phase de fonctionnement de Cigéo permettront de conforter ce point.
- Pour l'installation de surface, les bâtiments mais également les ouvrages semi-enterrés ou en sub-surface tels que les dispositifs d'étanchéité seront soumis à des conditions climatiques variables (chaud/froid voire gel/dégel, pluie/ensoleillement, variation d'hygrométrie…) qui, sur des périodes de fonctionnement importantes, rendront vraisemblablement nécessaire leur reconstruction. A ce stade, il n'y a pas d'élément rédhibitoire identifié, d'autant que les dispositions de conception en lien avec les règles de l'art en matière de génie civil moderne contribuent à limiter les effets des conditions climatiques sur les ouvrages et augmenter leur

durée de vie fonctionnelle, mais des jouvences lourdes nécessiteront d'être planifiées et optimisées afin d'éviter autant que faire se peut des arrêts de l'exploitation.

La poursuite de fonctionnement de Cigéo pourra donc être traitée par la réalisation de jouvences supplémentaires. Leur ampleur sera conditionnée à la durée de fonctionnement du centre de stockage Cigéo et dépendra donc de la stratégie de recyclage qui sera effectivement retenue (cf. supra), ainsi que des chroniques de livraison des déchets considérées. Les besoins de jouvence de grande ampleur seront évalués grâce aux données collectées par un système de surveillance adapté.

4.2.3 L'impact du projet NNF sur les évaluations de sûreté de l'INB du centre de stockage Cigéo

4.2.3.1 La sûreté en exploitation

L'Andra a évalué la suffisance des dispositions de protection retenues dans la démonstration de sûreté en exploitation du centre de stockage Cigéo pour le stockage des déchets générés par 6 réacteurs EPR2 du projet NNF.

Cette analyse a été menée au regard des fonctions de sûreté suivantes :

- Maîtriser le confinement des substances radioactives ;
- Garantir la protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants ;
- Maîtriser la puissance thermique issue des substances radioactives et des réactions nucléaires ;
- Maîtriser les réactions nucléaires en chaîne.

Les caractéristiques géométriques et physico-chimiques des colis de déchets générés par le projet NNF sont similaires à celles des colis de l'inventaire de référence et de l'inventaire de réserve. Le processus de stockage de ces colis de déchets ne nécessiterait donc pas d'adaptation par rapport à celui retenu dans le cadre de la demande d'autorisation de création. Aussi, l'analyse de risque menée pour le stockage de l'inventaire de référence et le stockage de l'inventaire de réserve au sein du dossier de DAC de l'INB du centre de stockage Cigéo peut être reconduite pour les colis de déchets du projet NNF.

L'évaluation réalisée par l'Andra est basée sur les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques des colis de déchets générés par le projet NNF transmises par EDF. Cette étude permet de montrer que les dispositions valorisées dans la démonstration de sûreté de l'INB du centre de stockage Cigéo au stade du dossier de DAC, ainsi que le dimensionnement de ces dispositions, permettent de répondre aux exigences réglementaires et de respecter les objectifs de protection de l'Andra vis-à-vis des travailleurs, du public et de l'environnement.

A cet égard, il convient de retenir les éléments suivants :

- L'évaluation dosimétrique prévisionnelle pour les travailleurs est du même ordre de grandeur que celle établie au sein des études menées pour le dossier de DAC de l'INB du centre de stockage Cigéo ;
- L'impact radiologique au niveau du public associé à des scénarios accidentels (chute par exemple) sur des déchets générés par le projet NNF est du même ordre de grandeur que celui évalué pour les colis de même typologie retenue dans les études menées pour le dossier de DAC de l'INB du centre de stockage Cigéo. Cet impact radiologique est très inférieur aux objectifs de protection retenus par l'Andra ;
- Un taux d'irradiation minimum, atteint dès le premier cycle d'irradiation du combustible en réacteur, permettra de satisfaire à la maitrise du risque de criticité.

Compte tenu des éléments présentés ci-avant, vis-à-vis de la sûreté en exploitation, le stockage des déchets générés par le projet NNF, dont les caractéristiques sont similaires aux déchets actuellement envisagés pour le dossier de DAC, n'engendre pas de risque supplémentaire. La conception proposée au stade du DAC du centre de stockage Cigéo permet de garantir la sûreté pendant toute la durée de fonctionnement.

4.2.3.2 La sûreté en après-fermeture à long terme

Dans le cadre du projet NNF, l'Andra a analysé les conséquences de la prise en compte du stockage des déchets générés par l'ajout de 6 réacteurs EPR2 au parc actuel (cf. § 3) sur les évaluations de sûreté après fermeture du centre de stockage Cigéo réalisées dans le cas du stockage de l'inventaire de référence et de réserve. Cette analyse considère les trois stratégies de retraitement du combustible usé (multi-recyclage, mono-recyclage et arrêt du recyclage).

Pour vérifier le bon fonctionnement et la robustesse du stockage sur le long terme vis-à-vis de l'objectif fondamental de protection de la santé des personnes et de l'environnement, les évaluations de sûreté après-fermeture s'appuient sur un ensemble de scénarios couvrant l'évolution normale du stockage et des déviations par rapport à cette évolution. Leur définition tient compte non seulement des connaissances scientifiques et technologiques acquises et des modalités de gestion par conception mais aussi des risques internes et des risques externes et des incertitudes résiduelles de connaissances scientifiques et technologiques.

L'analyse réalisée dans le cadre du projet NNF a visé à s'assurer que les modalités actuelles de maîtrise des risques ne sont pas affectées par la prise en compte des déchets générés par l'ajout des 6 réacteurs EPR2. Ainsi, de part des caractéristiques physico-chimiques, radiologiques et thermiques similaires avec les inventaires déjà étudiés dans le cas des évaluations de sûreté actuelles (inventaire de référence et inventaire de réserve), l'analyse préliminaire montre que les scénarios retenus et leurs définitions ne sont pas remis en cause par la prise en compte de ces déchets. De même, le risque de criticité en alvéole qui pourrait affecter les caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien est écarté pour tous les combustibles usés du projet NNF.

Les évaluations des différents scénarios de sûreté retenus caractérisent et quantifient le comportement des radionucléides dans les différents composants du stockage ainsi que leur migration éventuelle, depuis les déchets et colis jusqu'à la biosphère, selon les hypothèses considérées pour chaque scénario. Les caractéristiques des colis de déchets générés par l'exploitation des 6 réacteurs EPR2 étant très similaires à celles des colis de déchets des inventaires actuellement prévus dans Cigéo, les mécanismes physico-chimiques pilotant le relâchement et le transfert en solution des radionucléides dans les compartiments du stockage (colis, alvéole, milieu géologique) sont identiques. Par conséquent, les impacts radiologiques associés au stockage des colis de déchets générés par l'exploitation des 6 réacteurs EPR2 sont directement liés à leurs inventaires en radionucléides le Chlore 36, l'Iode 129 et Sélénium 79 qui, du fait de leur mobilité et de leur vie longue, sont les 3 radionucléides qui contribuent majoritairement à l'impact radiologique.

L'ajout de 6 réacteurs EPR2 au parc actuel conduit ainsi à une augmentation des inventaires en radionucléides mobiles à vie longue stockés après fermeture dans l'INB du centre de stockage Cigéo de l'ordre de 12 % pour le Chlore 36, et 17 % pour le Sélénium 79 pour les trois stratégies de retraitement et d'au maximum de 45 % pour l'Iode 129 pour les stratégies de mono-recyclage et d'arrêt du recyclage. Ces augmentations sont donc au plus d'un facteur 1,5.

De ce fait, les impacts radiologiques en après fermeture d'un stockage prenant en compte ces augmentations d'inventaire resteraient donc du même ordre de grandeur que ceux pour le stockage des déchets de l'inventaire de référence ou ceux de l'inventaire de réserve.

5. Conclusion

A ce stade de l'évaluation des conséquences du projet NNF sur la gestion des déchets induits par l'exploitation de 6 réacteurs EPR2 et au regard des données d'entrée fournies par les exploitants nucléaires, il n'est pas identifié d'élément rédhibitoire au stockage de ces déchets dans les filières opérationnelles ou à l'étude. La prise en compte de l'inventaire des déchets produits par le projet NNF dans Cigéo conduirait à un allongement de la durée de vie de l'installation, une augmentation de l'emprise du stockage, et un impact radiologique dans des proportions dépendantes de la stratégie de retraitement retenue.

Par ailleurs, la présente évaluation technique ne préjuge pas des processus règlementaires et démocratiques requis ; dans le cas où la création de tout ou partie des 6 réacteurs EPR2 viendrait à être autorisée, des études 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.

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex

www.andra.fr