

# COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

---

DES RECHERCHES ET ÉTUDES RELATIVES  
À LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS

*Instituée par la Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006*

RAPPORT D'ÉVALUATION N° 15

**Juin 2021**



COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION  
DES RECHERCHES ET ÉTUDES RELATIVES  
À LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS

*Instituée par la Loi n°2006-739 du 28 juin 2006*

RAPPORT D'ÉVALUATION N° 15

JUIN 2021



## TABLE DES MATIÈRES

<b>AVANT-PROPOS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUME - CONCLUSION</b> .....	<b>7</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>11</b>
<b>CHAPITRE I : LES ENJEUX DE LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ENERGIE</b> .....	<b>13</b>
1.1    LES ACQUIS DE LA RECHERCHE SUR LA GESTION DES MATIERES ET DECHETS RADIOACTIFS.....	13
1.1.1 <i>L'entreposage de longue durée : une solution non pérenne</i> .....	13
1.1.2 <i>Le stockage géologique : la France engagée dans cette voie de référence</i> .....	14
1.1.3 <i>La transmutation, une perspective partielle et toujours plus lointaine</i> .....	14
1.2    LA PPE 2020 : INCONNUES ET VEROUS SCIENTIFIQUES LIES A SA MISE EN ŒUVRE .....	15
1.2.1 <i>Les défis du multi-recyclage du Pu en REP</i> .....	15
1.2.2 <i>Les différences de maturité technologique des réacteurs alternatifs pour le traitement des déchets</i> .....	16
1.3    L'IMPACT DE LA PPE 2020 .....	18
1.3.1 <i>Le scénario hypothétique de gestion du MOX2 et du Pu</i> .....	18
1.3.2 <i>La gestion des déchets HA et MAVL</i> .....	18
1.3.3 <i>Des filières de gestion de déchets de capacité insuffisante ou inexistantes pour les autres catégories de déchets</i> .....	19
1.3.4 <i>L'indispensable développement des compétences</i> .....	19
<b>CHAPITRE II : LES ALTERNATIVES AU STOCKAGE PROFOND</b> .....	<b>23</b>
2.1    TENTATIVE DE DEFINITION DE LA NOTION D'ALTERNATIVE AU STOCKAGE PROFOND.....	23
2.2    LES ALTERNATIVES AU STOCKAGE PROFOND PROPOSEES JUSQU'A CE JOUR .....	24
2.3    LA TRANSMUTATION : INTERET ET PERSPECTIVES .....	25
2.3.1 <i>Qu'est-ce que la transmutation ?</i> .....	25
2.3.2 <i>Les radionucléides susceptibles d'être traités par transmutation</i> .....	26
2.3.3 <i>L'état de la recherche en matière de transmutation</i> .....	27
2.3.4 <i>Les installations industrielles nécessaires pour mettre en œuvre la transmutation</i> .....	28
2.4    L'EVALUATION DES RECHERCHES SUR LES ALTERNATIVES AU STOCKAGE PROFOND .....	28
<b>CHAPITRE III : LA RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT SUR LA SEPARATION</b> .....	<b>31</b>
3.1    GENERALITES .....	31
3.2    LA SEPARATION POUR LE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USES.....	31
3.2.1 <i>Retraitement du combustible utilisé UOX des REP</i> .....	31
3.2.2 <i>Retraitement des combustibles MOX</i> .....	31
3.3    LA SEPARATION POUR LA TRANSMUTATION .....	34
3.4    LES ECHEANCES .....	34
3.5    CONCLUSION .....	35
<b>CHAPITRE IV : CIGÉO</b> .....	<b>37</b>
4.1    INTRODUCTION .....	37
4.2    DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE ET DOSSIER D'AUTORISATION DE CREATION .....	37
4.2.1 <i>Déclaration d'utilité publique</i> .....	37
4.2.2 <i>Demande d'autorisation de création</i> .....	38
4.2.3 <i>Objectif de la phipil</i> .....	38
4.3    ASPECTS TECHNIQUES RESTANT A COUVRIR D'ICI LE DEPOT DE LA DAC ET AU COURS DE SON INSTRUCTION .....	39
4.3.1 <i>La qualité et le contrôle des colis</i> .....	39
4.3.2 <i>Travaux en soutien du dossier de DAC</i> .....	41

4.3.3	<i>Etudes complémentaires entre la demande et la délivrance du décret d'autorisation de création</i> .....	42
4.4	GOUVERNANCE OPERATIONNELLE ET CONCERTATION .....	44
4.4.1	<i>Gouvernance de Cigéo</i> .....	44
4.4.2	<i>Concertation</i> .....	45
4.5	EVOLUTION DE L'ANDRA .....	45
4.5.1	<i>Perspectives R&amp;D</i> .....	45
4.5.2	<i>Transmission des savoirs et compétences</i> .....	46
<b>CHAPITRE V : PANORAMA INTERNATIONAL : VERS UN PROCESSUS DE GOUVERNANCE</b> .....		<b>49</b>
<b>GLOSSAIRE</b> .....		<b>53</b>
<b>ANNEXE I : COMPOSITION DE LA COMMISSION NATIONALE D'EVALUATION</b> .....		<b>57</b>
<b>ANNEXE II : ACTIVITE DE LA COMMISSION</b> .....		<b>59</b>
<b>ANNEXE III : PRESENTATIONS ET VISITES DE LA COMMISSION</b> .....		<b>61</b>
<b>ANNEXE IV : AUDITIONS REALISEES PAR LA COMMISSION</b> .....		<b>63</b>
<b>ANNEXE V : LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES PAR LA COMMISSION</b> .....		<b>65</b>
<b>ANNEXE VI : LISTE DES DOCUMENTS TRANSMIS A LA COMMISSION EN 2020-2021</b> .....		<b>67</b>
<b>ANNEXE VII : NOTE D'INFORMATION AU PARLEMENT SUR L'ANALYSE DE L'IMPACT DE LA CRISE SANITAIRE SUR LES ETUDES ET RECHERCHES PORTANT SUR LA GESTION DES MATIERES ET DECHETS RADIOACTIFS (BILAN PROVISoire, 28 JANVIER 2021)</b> .....		<b>69</b>
<b>ANNEXE VIII : LES OPERATIONS D'ASSAINISSEMENT ET DEMANTELEMENT AU CEA ET CHEZ EDF ET LA GESTION DES DECHETS TFA</b> .....		<b>81</b>
<b>ANNEXE IX : ELEMENTS PRESENTES A LA COMMISSION SUR LES TRAVAUX CONSACRES A L'EFFET DES FAIBLES DOSES ET A L'ECOTOXICOLOGIE</b> .....		<b>85</b>
<b>ANNEXE X : PANORAMA INTERNATIONAL SUR L'EVOLUTION DES PROCESSUS DE GOUVERNANCE EN MATIERE DE GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS</b> .....		<b>89</b>





## AVANT-PROPOS

La première loi en France sur la gestion des déchets radioactifs date de 1991. C'était une loi organisant la recherche pour 15 ans. Le Parlement, conscient de la spécificité et de la nouveauté des problèmes que posaient ces déchets, a confié à une commission (CNE) l'évaluation de l'état d'avancement des recherches dans ce domaine. Selon cette loi, les évaluations de la CNE donnent lieu à un rapport annuel au Parlement qui en saisit l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Cette commission a rendu un ensemble de 13 rapports entre les années 1991 et 2006.

En juin 2006, une seconde loi organisant la programmation des décisions prises par le parlement et portant à la fois sur la gestion des matières et déchets radioactifs a été promulguée. Elle a confirmé l'existence et la mission de la Commission (devenue l'actuelle CNE2) en étendant son domaine d'expertise. La CNE2 est composée de douze membres (Cf. Annexe I), bénévoles nommés sur proposition du Parlement, de l'Académie des sciences et de l'Académie des sciences morales et politiques. Pour compléter le panel d'expertise nécessaire à l'évaluation des recherches, la CNE2 peut faire appel à des experts. Depuis 2020, trois experts bénévoles viennent épauler la Commission dans ses travaux.

La CNE2 évalue les recherches en cours relatives aux matières et déchets radioactifs et formule des recommandations afin d'éclairer le Parlement. Pour cela, elle auditionne régulièrement les acteurs de la recherche. La Commission produit aussi des évaluations sur des sujets d'actualité à la demande de l'OPECST, comme par exemple sur les impacts de l'épidémie de Covid-19 cette année. En 2021, elle est aussi intervenue auprès de la commission d'orientation créée par la DGEC dans le cadre de la préparation du prochain PNGMDR.

La CNE2 est une commission indépendante dont les rapports et avis sont accessibles sur son site internet. Elle attache une importance toute particulière à un examen le plus exhaustif possible des résultats de recherches, conformément à la mission que le Parlement lui a confiée. La CNE2 se tient disponible pour auditionner les experts et acteurs de la recherche qui le souhaiteraient, en vue d'évaluer leurs travaux pour le Parlement.







## RESUME - CONCLUSION

Les lois de 1991 et 2006 prescrivent que, dans le cadre de la gestion des matières et déchets radioactifs, des recherches seront conduites sur le stockage des déchets, la séparation des matières et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), adoptée le 21 avril 2020, fournit désormais le cadre dans lequel ces recherches sont conduites.

### LES ENJEUX DE LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE

EDF prévoit l'utilisation de combustible MOX (mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium) dans des réacteurs en service de 1300 MWe en raison de l'arrêt d'ici à 2035 de quatorze réacteurs de 900 MWe. Cela permettra en particulier de limiter l'augmentation du stock de combustible utilisé UOX (oxyde d'uranium). Le report vers la fin du siècle du déploiement de réacteurs à neutrons rapides repousse d'autant l'horizon de la fermeture du cycle du combustible, tandis qu'une étape intermédiaire est introduite pour 2050 environ : le multi-recyclage du plutonium en réacteur à eau pressurisée (REP). Constatant l'évolution de la place et des modalités d'exploitation du nucléaire dans le mix énergétique français, la Commission observe que les priorités de R&D doivent aussi changer.

La PPE impose d'instruire de manière urgente un certain nombre de questions. Par exemple, le multi-recyclage du plutonium en REP présente des défis majeurs non résolus à ce jour et sa faisabilité sera analysée dans le cadre d'études initiées au titre du Plan de relance. La planification des opérations d'assainissement et de démantèlement, l'augmentation de la capacité de stockage des déchets TFA, et la création d'un stockage FAVL pour lequel aucun concept abouti n'a encore été élaboré, nécessitent également des études urgentes.

La Commission examine dans ce rapport trois sujets qu'elle considère prioritaires : les pistes de recherche sur les « alternatives » au stockage profond, les travaux sur la séparation et enfin le lancement du projet Cigéo, nécessaire pour gérer les déchets à vie longue du parc actuel.

A l'instar de l'ASN, la Commission estime que le déploiement de la nouvelle stratégie française appelle des décisions à prendre d'ici 5 ans s'agissant des capacités de stockage, du cycle des matières ou de la gestion des déchets. Ces décisions orienteront la R&D pour les cinquante à quatre-vingts prochaines années. La Commission rappelle qu'il sera difficile d'attirer de nouveaux talents vers la R&D sans un engagement à développer une industrie nucléaire sûre et performante s'intégrant dans un mix énergétique décarboné.

### LES ALTERNATIVES AU STOCKAGE PROFOND

Une « alternative » au stockage profond s'entend, pour la Commission, comme une installation ou une combinaison d'installations, éventuellement associées à des procédés de traitement et de conditionnement spécifiques, qui permettent de garantir le même niveau de sûreté qu'un stockage profond pendant la même durée et sous les mêmes contraintes. Une telle installation doit donc présenter les caractéristiques suivantes : permettre la gestion définitive des déchets radioactifs concernés ; atteindre des performances de sûreté à long terme au moins aussi bonnes que celles d'un stockage profond ; ne pas faire peser de charge sur les générations futures proches ou lointaines, ce qui suppose d'une part que la sûreté à long terme de l'installation ne nécessitera pas d'intervention humaine, et d'autre part que son financement soit assuré par les moyens mis en place par la génération présente.

La Commission considère qu'il n'y a pas lieu de remettre en cause le consensus scientifique au sujet de l'entreposage de longue durée et donc que celui-ci ne peut figurer parmi les « alternatives » possibles au stockage profond. Seuls subsistent à ce titre les différents concepts fondés sur la transmutation, avec leurs perspectives et leurs limites.

La transmutation consiste à transformer par fission des éléments radioactifs à vie longue en éléments à vie plus courte.

Même si elles requièrent des avancées très significatives, les technologies envisagées aujourd'hui pour la transmutation pourraient déboucher sur des installations industrielles avant la fin du siècle à condition que des moyens très conséquents leur soient consacrés. Elles imposent toutes la poursuite du retraitement des combustibles. En revanche, il est vain d'espérer que la transmutation permette de s'affranchir d'une installation de stockage profond qui restera nécessaire pour gérer les déchets de haute activité à vie longue déjà vitrifiés, les déchets de moyenne activité à vie longue dont la transmutation n'est pas réaliste, et enfin les déchets ultimes issus de la séparation et de la transmutation.

La Commission examinera tous les concepts nouveaux « d'alternative » au stockage profond, scientifiquement documentés, qui pourraient émerger. A cet effet, elle se propose d'auditionner les scientifiques concernés, sans se limiter aux acteurs de la loi, afin d'être en capacité d'évaluer leurs travaux pour le Parlement.

## RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LA SÉPARATION

La recherche sur la séparation est un axe indispensable pour la mise en œuvre de la PPE et devrait bénéficier d'un très haut niveau de priorité. La Commission considère que les moyens déployés aujourd'hui sont insuffisants pour atteindre les objectifs affichés.

Le multi-recyclage du plutonium en REP serait déployé en utilisant de futurs EPR. Selon la PPE, il s'agit d'une étape vers un futur multi-recyclage du plutonium en réacteur à neutrons rapides (RNR). Dans ce contexte, la séparation permettant de retraiter le combustible usé, c'est-à-dire d'isoler les matières valorisables qu'il contient pour fabriquer de nouveaux combustibles, est incontournable.

8

Le procédé Purex de retraitement du combustible usé UOX a été porté dans l'usine de la Hague à un niveau d'optimisation inégalé. Pour autant, il n'est pas acquis qu'il puisse, en l'état, être transposé aux quantités industrielles de combustible usé de type MOX à retraiter en vue du multi-recyclage en REP, et *a fortiori* en RNR. En effet, les teneurs en plutonium de ces combustibles seraient bien plus élevées. La faisabilité scientifique d'un procédé de substitution semble acquise à l'échelle du laboratoire. Dans la perspective d'une mise en œuvre du multi-recyclage en REP à partir de 2040, et en tenant compte de la nécessaire rénovation des installations de la Hague prévue à cette date, la faisabilité industrielle des nouveaux procédés de séparation devra impérativement être établie avant 2030 pour que les calendriers soient plausibles.

L'américium est l'élément le plus pénalisant pour un stockage profond. Il y aurait donc un intérêt à le transmuter, ce qui exigerait de l'isoler en aval du procédé Purex. Un procédé spécifique a été développé en France à l'échelle du laboratoire ; il reste à l'industrialiser. Par ailleurs, atteindre un rendement global de transmutation significatif nécessite plusieurs cycles d'irradiation et de retraitement. L'absence d'installations d'irradiation en spectre rapide en Europe rendra d'autant plus difficile toute expérimentation sur plusieurs cycles de transmutation.

## CIGÉO

Dans la mesure où l'inventaire de référence reste inchangé, la PPE n'a pas d'impact sur les études et recherches concernant le projet Cigéo et en particulier sur la préparation de sa demande d'autorisation de création (DAC). La Commission a conclu par ailleurs dans ses deux derniers rapports que l'Andra disposait des connaissances scientifiques et des éléments techniques suffisant au dépôt de cette demande. Pour autant, des connaissances restent à consolider, notamment sur deux sujets, avant le dépôt de cette demande ou d'ici la fin de son instruction.

- Les phénomènes de radiolyse et de corrosion produiront de l'hydrogène, ce qui provoquera sur le long terme une montée en pression temporaire dans le stockage. Le critère de conception du stockage vis-à-vis de ce phénomène est respecté, mais la Commission considère que l'Andra devra expliciter les marges liées d'une part aux processus physiques mis en jeu et d'autre part aux modalités techniques mises en œuvre.
- Le stockage de déchets MAVL bitumés avait fait l'objet de réserves relatives au risque d'incendie. Les conclusions de la revue internationale menée sur ce sujet ont motivé la définition par les producteurs d'un programme de travail approprié, dont les résultats sont maintenant attendus.

L'exploitation de Cigéo va débiter par une phase industrielle pilote, la phipil, au cours de laquelle une partie de l'installation sera construite et seules quelques familles de déchets seront admises pour stockage. La Commission rappelle l'importance d'une définition claire et partagée du périmètre et des modalités de mise en œuvre de la gouvernance opérationnelle du projet Cigéo avant le lancement de la phipil. Le schéma adopté doit définir qui est concerné, pourquoi, comment et quand. Sa simplicité est un gage d'efficacité. Cette gouvernance opérationnelle se distingue de la gouvernance stratégique des matières et déchets radioactifs que la direction générale de l'énergie et du climat met en œuvre.

Les dossiers d'agrément, les procédures d'assurance qualité des producteurs et les contrôles chez les producteurs doivent être à même d'assurer la conformité des colis aux spécifications d'acceptation en stockage. Cependant, au regard des enjeux d'exploitation et de sûreté à long terme, la Commission considère qu'une procédure de contrôle par l'exploitant à l'arrivée des colis sur le site de stockage doit être mise en place afin d'apporter toutes les garanties nécessaires et de permettre à l'exploitant d'assumer sa responsabilité dans l'acceptation des colis dans Cigéo.

Selon la Commission, la phipil aura atteint son objectif quand elle aura répondu aux enjeux suivants : la démonstration de la réalisation technique des composants de Cigéo ; la démonstration du bon fonctionnement de l'installation par des essais de qualification et par des tests de mise en œuvre de la réversibilité ; la démonstration du bon déroulement de son exploitation industrielle ; la mise en pratique des modalités de gouvernance définies au préalable.

L'exploitation de Cigéo nécessitera jusqu'à sa fermeture, et donc pendant plus de cent ans, de tester des innovations et des adaptations, ce qui ne saurait être réalisé dans une installation nucléaire de base en fonctionnement. La Commission considère qu'il sera indispensable de maintenir en activité le laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne pendant toute l'exploitation du stockage.

## PANORAMA INTERNATIONAL : VERS UN PROCESSUS DE GOUVERNANCE

L'analyse des processus de gouvernance en matière de gestion des matières et déchets radioactifs dans un grand nombre de pays permet de distinguer des éléments de bonnes pratiques.

Un processus de gouvernance stratégique clair et transparent est une condition requise. Ce processus vise en premier lieu à établir l'engagement de la communauté nationale dans la recherche proactive d'une solution respectueuse des générations futures tout en tenant compte des intérêts légitimes des populations locales directement impliquées aujourd'hui.

Chaque type de gouvernance est spécifique à la question à résoudre et à la culture démocratique du pays concerné. Il s'appuie sur les acquis de la recherche, y compris en sciences humaines et sociales. Il identifie les responsabilités des différents acteurs en particulier dans l'enchaînement des décisions à prendre.

Qu'elle soit stratégique ou opérationnelle, la gouvernance doit être structurée et documentée, permettant ainsi de progresser et de conclure pas à pas. Elle implique, à l'aboutissement du processus, de décider sur la base des conclusions formulées.







## INTRODUCTION

Les lois de 1991 et de 2006 prescrivent que, dans le cadre de la gestion des matières et déchets radioactifs, des recherches seront conduites sur le stockage des déchets, la séparation des matières recyclables des combustibles usés et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue. Jusqu'à la date de publication de son rapport n°13 (2019), la Commission avait observé que les études et recherches sur l'aval du cycle du combustible et le cycle des matières étaient conduites en adéquation avec ces préconisations. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), adoptée le 21 avril 2020, a modifié substantiellement le contexte et les motivations de ces travaux, comme la Commission l'a exposé en détail dans son rapport n°14 (2020).

La PPE constitue désormais le cadre dans lequel les recherches sur la gestion des matières et des déchets radioactifs sont conduites. La Commission examine dans un premier chapitre les défis scientifiques liés à cette nouvelle stratégie. Ce panorama effectué, la Commission a jugé indispensable d'approfondir trois sujets traitant des matières et déchets radioactifs qu'elle considère centraux pour la mise en œuvre de la PPE.

### **Les « alternatives » au stockage géologique profond.**

Depuis de nombreuses années, le stockage géologique profond est considéré en France et sur le plan international comme la solution de référence pour la gestion des déchets radioactifs à vie longue. Pour autant, cela ne signifie pas que d'autres options de gestion ne peuvent être envisagées. Le chapitre II présente l'analyse de la Commission sur les acquis et les recherches en cours concernant le développement « d'alternatives » au stockage géologique profond.

### **La séparation du plutonium, de l'uranium et des actinides mineurs des combustibles usés.**

La séparation occupe une place essentielle dans la stratégie de gestion des matières. Le chapitre III examine les avancées dans ce domaine en considérant à la fois la séparation en vue de recycler les matières (uranium, plutonium) pour produire de nouveaux combustibles selon un calendrier fixé par la PPE et la séparation en vue d'isoler les éléments transmutables (américium) dans un avenir plus lointain.

### **Le projet Cigéo.**

Un stockage géologique profond sera nécessaire, dans tous les cas, pour accueillir les déchets ultimes de haute et moyenne activité à vie longue (HA et MAVL) qui existent déjà, ou qui seront produits par le parc actuel et par un éventuel parc futur. La Commission examine au chapitre IV l'avancement du projet Cigéo dont le dossier de demande d'autorisation de création est en voie de finalisation.

Cette année, le panorama international de la Commission est consacré à l'évolution des processus de gouvernance de la gestion des déchets radioactifs. La Commission propose une synthèse de cette évolution pour quelques pays d'Europe, l'Amérique du Nord et le Japon, et tâche d'en tirer les meilleures pratiques.

Les orientations prises dans le cadre de la PPE auront un impact considérable sur les programmes de recherche à venir. C'est pourquoi la Commission, en complément des recommandations qu'elle formule traditionnellement, a conclu chaque chapitre par un encadré destiné à inscrire pleinement cette recherche dans le cadre de la nouvelle stratégie nationale.

Pour ce 15<sup>ème</sup> rapport, la Commission a tenu compte des documents qui lui ont été transmis jusqu'à la date du 15 avril 2021.



# CHAPITRE I : LES ENJEUX DE LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ENERGIE

De 1991 à 2019, la gestion des matières et des déchets radioactifs a été traitée dans un cadre scientifique et technologique rigoureux défini par plusieurs lois. Elle avait pour but de recycler les matières énergétiques et de maîtriser l'inventaire en plutonium. En permettant de fermer partiellement le cycle du combustible, cette stratégie devait réduire la dépendance énergétique de la France.

La programmation pluriannuelle de l'énergie de 2020 (PPE 2020) modifie fondamentalement, au moins jusqu'à la fin du siècle, l'approche précédente. Des voies alternatives pour la gestion des matières et déchets sont proposées, mais les incertitudes dont elles sont grevées sont nombreuses. Des verrous technologiques majeurs, sont d'ores et déjà identifiés et ils seront à lever. La faisabilité de la mise en œuvre de la PPE 2020 concernant la gestion des matières et déchets n'a pas été démontrée pour plusieurs de ses orientations.

Pour illustrer l'importance de ces enjeux, ce chapitre présente d'abord les acquis scientifiques et technologiques, ce qui permet ensuite de mieux mesurer l'impact de la PPE sur l'orientation des études et recherches sur la gestion des matières et déchets radioactifs.

## 1.1 LES ACQUIS DE LA RECHERCHE SUR LA GESTION DES MATIERES ET DECHETS RADIOACTIFS

13

---

### 1.1.1 L'entreposage de longue durée : une solution non pérenne

La Directive 2011/70/EURATOM considère que « l'entreposage de déchets radioactifs, y compris à long terme, n'est qu'une solution provisoire qui ne saurait se substituer au stockage ».

*Aussi l'entreposage n'est-il considéré par la Commission que dans une perspective de valorisation ou de gestion ultérieure des matières (dont les combustibles usés qui contiennent des matières fissiles recyclables) et de certains déchets. La Commission a examiné de manière détaillée dans son rapport n°14 les études relatives aux entreposages.*

Un entreposage peut cependant servir d'« étape tampon » dans l'attente d'une solution de gestion définitive.

Un inventaire consolidé des connaissances concernant le comportement à long terme d'un entreposage séculaire et celui des colis entreposés devra être établi. Il permettra d'identifier les domaines où la connaissance, lacunaire, nécessite des études complémentaires.

### 1.1.2 Le stockage géologique : la France engagée dans cette voie de référence

En application de la loi de 1991, les recherches de sites de stockage pour les déchets nucléaires ont été lancées. Trois sites ont été retenus en 1994 : un dans le granite de la Vienne, deux dans des roches argileuses en Meuse Haute-Marne et dans le Gard.

Les travaux de reconnaissance géologique associés aux études de l'ensemble de la communauté scientifique nationale ont permis de faire un choix raisonné. Ils ont été évalués par la Commission. Les granites français du Massif central, du fait de leur histoire géologique, sont très fracturés et donc inaptes à confiner des déchets. Les argilites du Gard ont été écartées du fait des contextes sismotectonique et paléoclimatique dans la vallée du Rhône.

*Depuis lors, le développement du stockage géologique en Meuse Haute-Marne est encadré par les lois de 2006 et 2016. La Commission a conclu dans ces deux derniers rapports annuels que l'Andra disposait des connaissances scientifiques et des éléments techniques nécessaires au dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC) d'un site de stockage géologique sur le site de Bure.*

### 1.1.3 La transmutation, une perspective partielle et toujours plus lointaine

14

La transmutation d'un radionucléide à vie longue (produit de fission ou actinide mineur) vise à le transformer en un ou plusieurs autres radionucléides de période radioactive plus courte. Elle peut être réalisée en réacteur par des réactions nucléaires spécifiques sur les radionucléides cibles. Une étape indispensable consiste à séparer et isoler les radionucléides à transmuter.

Au vu de nombreuses études conduites par le CEA, la séparation et la transmutation des produits de fission à vie longue (technétium 99, iode 129, césium 135) apparaît très difficile, voire impossible. La transmutation ne concernerait au mieux que les actinides et plus particulièrement l'américium 241.

*Seule la transmutation de l'américium, dont la thermicité est élevée, présenterait un réel intérêt. Elle permettrait de réduire l'emprise du stockage géologique.*

Par ailleurs, la transmutation ne prend tout son sens que dans le cadre d'un cycle du combustible fermé mis en œuvre sur le long terme compte tenu des rendements observés.

*Quel que soit le procédé utilisé, la séparation-transmutation n'est pas applicable aux déchets déjà vitrifiés, aux produits de fission et aux déchets de moyenne activité et à vie longue (MAVL).*

## 1.2 LA PPE 2020 : INCONNUES ET VEROUS SCIENTIFIQUES LIES A SA MISE EN ŒUVRE

Certaines des orientations nouvelles de la PPE 2020 ont un impact significatif sur la gestion des matières et des déchets radioactifs. En particulier, le report vers la fin du siècle du déploiement de réacteurs à neutrons rapides repousse d'autant l'horizon de la fermeture du cycle du combustible, tandis qu'une étape intermédiaire est introduite : le multi-recyclage du plutonium en REP (MRREP). Par ailleurs, 14 réacteurs de 900 MWe doivent être mis à l'arrêt d'ici à 2035, ce qui va imposer l'utilisation de combustible MOX dans des réacteurs de 1300 MWe pour limiter l'augmentation du stock de combustibles usés UOX (oxyde d'uranium). Enfin, les opérations d'assainissement et de démantèlement des réacteurs arrêtés vont produire une quantité importante de déchets, notamment TFA, alors que la saturation des capacités de stockage de ces déchets approche.

La PPE modifie donc en profondeur le schéma de la gestion des matières et des déchets radioactifs tel qu'élaborée depuis une dizaine d'années.

### 1.2.1 Les défis du multi-recyclage du Pu en REP

Orano, le CEA, EDF et Framatome, organisés dans le cadre du Contrat stratégique de la filière nucléaire française, ont présenté les études du projet de MRREP jusqu'à l'horizon 2040. Dans un calendrier plus large, différents scénarios de production électronucléaire sont envisagés. Le CEA est en charge d'étudier la gestion des matières et des déchets correspondants.

15

Ce multi-recyclage permettrait de stabiliser l'inventaire du plutonium, d'utiliser la ressource énergétique du MOX et de réduire le besoin en uranium naturel. Il conduirait toutefois à une augmentation de la production d'actinides mineurs. Le MRREP permettrait enfin de contrôler l'accumulation de combustibles usés à entreposer. La construction, à ce jour non décidée, des EPR dédiés au MRREP est une condition nécessaire pour définir un engagement et un calendrier des actions de R&D qui conduiraient à l'éventuelle mise en œuvre industrielle de ce recyclage.

La conception par Framatome d'un combustible MOX qui serait fabriqué à partir d'un MOX usé fait l'objet de calculs pour un cœur d'EPR utilisant les concepts Corail ou MIX. Pour rappel, le concept CORAIL associe du plutonium recyclé à de l'uranium appauvri dans une partie des crayons des assemblages, les autres crayons étant chargés avec de l'oxyde d'uranium naturel enrichi. Le concept MIX, quant à lui, correspond à des assemblages où tous les crayons sont identiques. Ils contiennent de l'oxyde d'uranium naturel enrichi et du plutonium recyclé.

Dans ce scénario de multi-recyclage, le combustible devra être enrichi en uranium pour compenser la dégradation de l'isotopie du plutonium. Cela entraînera à chaque nouveau cycle l'adaptation des combustibles et de leur chaîne de fabrication.

L'expertise dans le domaine de la séparation est un pilier essentiel des nouvelles gestions du plutonium envisagées en REP. Le CEA développe des procédés pour le traitement des MOX REP et des futurs MOX RNR qui exigeront des études et des moyens de grande ampleur, impliquant de nouvelles installations dans l'usine de traitement à La Hague (voir chapitre III).

## 1.2.2 Les différences de maturité technologique des réacteurs alternatifs pour le traitement des déchets

A ce jour, deux technologies sont envisagées en France pour la transmutation des actinides : les RNR refroidis au sodium bénéficiant d'un large retour d'expérience, et les réacteurs à sels fondus (le sel étant utilisé à la fois comme combustible et caloporteur) dont le concept reste à ce stade très prospectif. Le report à la fin du siècle du déploiement des RNR donne plus de temps pour faire progresser ces technologies, dont la maturité est très différente.

### a) Les réacteurs à neutrons rapides à caloporteur sodium (RNR Na)

Afin de maintenir et développer les connaissances acquises notamment avec le projet Astrid, le CEA étudie (programme 2020-2024), via deux esquisses, l'intérêt d'un RNR-Na en version SMR (petit réacteur modulaire), sous les aspects sûreté, intérêt économique et cycle du combustible.

- La première esquisse, baptisée Atrium, en rupture avec les concepts du passé, vise à améliorer la sûreté intrinsèque du réacteur par la mise en œuvre de plusieurs innovations technologiques majeures : concept de circuit primaire à boucles, cœur optimisant les contre-réactions, suppression du circuit secondaire, évacuation de la puissance résiduelle par la cuve (ce qui n'est possible que pour un réacteur de faible puissance). Le concept sera décliné en une version calogène de 50 MWth et une version électrogène de 150 MWe.
- La seconde concerne un concept de réacteur à échangeurs intégrés, dérivé de la dernière esquisse d'Astrid de 150 MWe. La simplification de la conception est rendue possible par la faible puissance et les études portent surtout sur la réduction des coûts.

Les travaux s'appuient sur des moyens expérimentaux du CEA (plateforme Papyrus et LECA à Cadarache, Atalante à Marcoule, LECI à Saclay), et sur des collaborations internationales avec la Russie (Bor 60 et BN 600) pour les outils d'irradiation, et le Kazakhstan (réacteur IGR) pour les études consacrées aux accidents graves.

Le projet européen ESFR-SMART (European Sodium Fast Reactor- Safety Measures Assessment and Research Tools) a été lancé en 2016 dans le but de capitaliser le retour d'expérience (REX) européen fondé sur la reprise d'idées innovantes d'Astrid et du RNR EFR datant d'avant 2013. Le réacteur visé est un RNR commercial de 1500 MWe. Le projet a démarré en septembre 2017 pour 4 ans avec 19 organismes partenaires venant de 9 pays. La crise sanitaire a conduit à prolonger sa durée d'un an. Le budget global est de 10 M€. Après trois années, les calculs sur le fonctionnement du réacteur ont été réalisés ; le comportement en cas d'accident grave est en cours d'évaluation. Le projet H2020 PUMMA du CEA qui étudiera l'utilisation d'un MOX enrichi en Pu au-delà de 20 % a été retenu et cela va permettre d'étendre le projet ESFR au-delà de 2020.

Les RNR de faible puissance n'ont pas d'application pour le traitement des déchets. Cependant, selon EDF, ces études sont réalisées en soutien au projet de RNR-Na 1000 MWe qui serait développé en 2050 avec l'objectif de fermeture du cycle.

*La CNE observe que les moyens, notamment financiers, déployés pour ces travaux, correspondent à un ensemble d'exercices académiques, mais ne répondent pas à des ambitions de développement d'un projet de nouveau réacteur. Par ailleurs, aucune étude sur le cycle du combustible associé n'a été présentée à la Commission.*

## **b) Les réacteurs à sels fondus**

La technologie des réacteurs à sels fondus a fait l'objet de recherches pour l'utilisation d'un combustible liquide à base de thorium en spectre thermique. Un réacteur à sel fondu (en anglais MSR, molten salt reactor) a fonctionné dans les années 60 aux Etats-Unis avec un combustible de fluorures fondus. Aucun MSR n'a été construit depuis.

Des projets utilisant l'uranium enrichi et le plutonium, ou ayant pour objectif la transmutation d'actinides mineurs et de plutonium, sont en cours dans le monde (Inde, Russie, Canada, Etats-Unis). Aux Etats-Unis, le Département de l'énergie a accordé en 2016 40 M\$ à la société Terrapower pour le développement d'un MSR-R, réacteur à sels fondus (chlorures) à neutrons rapides. La Russie développe un projet et la Chine construit un prototype.

En France, les acteurs du nucléaire (Orano, CEA, EDF, Framatome et le CNRS) proposent un projet dans le cadre du Plan France relance, visant la transmutation des actinides mineurs pour répondre à la demande de réduire l'empreinte du stockage géologique. Il s'agit d'un MSR à neutrons rapides « convertisseur d'actinides ». Le CNRS a étudié des esquisses de MSR-R au cours de la dernière décennie.

Ce choix de s'engager dans un MSR convertisseur d'actinides est défendu en mettant en exergue la flexibilité supposée du pilotage d'un tel réacteur. Cependant, la réalisation suppose des avancées importantes. Ainsi la corrosion liée à l'utilisation de sels fondus à haute température exige des recherches sur les matériaux de structure. Le traitement chimique du combustible reste à établir pour retirer les produits de fission. En outre, si les sels retenus sont des chlorures, le <sup>36</sup>Cl généré dans le réacteur compliquera la gestion des sels et des déchets. De plus, la chimie des actinides en milieu sels fondus n'est pas totalement connue (solubilité, réactions d'oxydoréduction, co-précipitations, ...). S'agissant de la sûreté, il faudra démontrer, comme pour tous les nouveaux concepts, qu'elle est supérieure à celle d'un EPR.

*Compte tenu du caractère très innovant de la filière et des verrous technologiques identifiés, la Commission considère que les moyens engagés sont trop modestes pour le développement d'un projet d'une telle ampleur.*

## 1.3 L'IMPACT DE LA PPE 2020

### 1.3.1 Le scénario hypothétique de gestion du MOX2 et du Pu

Le combustible MOX est aujourd'hui utilisé exclusivement dans des réacteurs de 900 MWe. La PPE ayant prévu l'arrêt d'un certain nombre de ces réacteurs d'ici 2035, EDF et le CEA ont présenté à la Commission les étapes de l'adaptation des réacteurs de 1300 MWe à l'utilisation de combustible MOX. Le combustible pour ces réacteurs pourra être produit par l'usine Melox actuelle.

L'utilisation de combustible MOX dans des réacteurs de 1300 MWe ne devrait pas poser de difficulté scientifique, voire technique, significative. Toutefois, le dossier reste à instruire et le calendrier des opérations dépendra évidemment de leurs autorisations délivrées par l'ASN.

La fabrication du combustible MOX recyclé dans le cadre du MRREP sera, en revanche, très complexe. La séparation du Pu présent dans le MOX irradié nécessite de revisiter le procédé Purex et la préparation des oxydes nécessitera des installations blindées à une échelle industrielle.

18

*Compte tenu du temps requis pour mettre en œuvre le MRREP, et si des réacteurs à neutrons rapides permettant de fermer le cycle du combustible devaient être opérationnels au début du siècle prochain, seuls deux recyclages du Pu sont envisageables au regard du calendrier de la PPE 2020.*

### 1.3.2 La gestion des déchets HA et MAVL

La PPE n'a pas remis en cause l'option du stockage géologique profond pour les déchets HA et MAVL du parc actuel. La Commission estime que les études dédiées au stockage ont un degré de maturité suffisant pour permettre le dépôt de la demande d'autorisation de création. Ce point est détaillé au chapitre IV.

*Cependant, la PPE a prévu de soutenir les recherches sur des solutions « alternatives » de gestion des déchets à vie longue. La Commission rappelle que ces perspectives ne pourraient concerner que les déchets d'un parc futur. Une analyse du concept « d'alternative de gestion des déchets » est proposée au chapitre II.*

### 1.3.3 Des filières de gestion de déchets de capacité insuffisante ou inexistantes pour les autres catégories de déchets

Le projet d'arrêt de 14 REP 900 MWe dans les quelque 15 années à venir va conduire à une multiplication des chantiers de démantèlement et surtout à un besoin accru de capacité de gestion des quantités considérables de déchets TFA qui en résulteront. Le CEA d'une part, et EDF d'autre part, progressent sur leurs activités d'assainissement et démantèlement (voir annexe VIII). Les capacités de stockage de déchets TFA devront augmenter drastiquement. Des études sont conduites en vue d'en réduire le volume.

La question du recyclage de déchets métalliques décontaminés commence à être abordée. Elle a déjà fait l'objet d'analyses de la CNE dans les rapports n°11 et 13.

La perspective d'un tel recyclage implique l'intensification des recherches dans deux directions :

- d'une part, l'amélioration des capacités de mesure d'une radioactivité très faible disséminée dans de grands volumes, afin de permettre des contrôles fiables sur les matériaux dont on envisagerait le recyclage ;
- d'autre part, il faut mettre au point des méthodologies et protocoles applicables dès les premières étapes du démantèlement afin de procéder à un contrôle robuste des déchets pour leur gestion ultérieure.

La connaissance des effets des faibles doses sur la santé continue à être améliorée. Le maintien à niveau de l'expertise dans ce domaine est nécessaire. Le CEA a présenté à la Commission sa contribution aux travaux conduits par de nombreux organismes en France et dans le Monde pour améliorer la connaissance des effets d'une exposition à des faibles doses d'irradiation. L'IRSN a également présenté sa contribution aux travaux de l'UNSCEAR conduits notamment à partir de l'étude épidémiologique des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki, sur l'évaluation du risque d'effets stochastiques pour améliorer la radioprotection. Une synthèse des travaux présentés à la Commission sur ces thèmes, ainsi que sur ceux relatifs à l'écotoxicologie et à la réhabilitation des sols contaminés, est présentée en annexe IX.

Les projets de stockage de déchets FAVL n'ont pas progressé. L'Andra est en attente d'un cadrage stratégique plus explicite sur les objectifs de ces projets pour lui permettre d'identifier les concepts les plus pertinents et les environnements dans lesquels ils pourraient être implantés.

Par ailleurs, la PPE n'a pas abordé la question de la valorisation de toutes les matières radioactives, dont l'uranium appauvri.

### 1.3.4 L'indispensable développement des compétences

L'étendue de la R&D nécessitée par la mise en œuvre de la PPE 2020 est considérable, ceci dans plusieurs champs scientifiques évoqués aux chapitres suivants. L'étude de la séparation-transmutation s'inscrit dans une ambition à long terme, avec nécessairement un maintien et un développement des compétences scientifiques au plus haut niveau. Les nouveaux réacteurs dédiés à la transmutation impliqueront des sauts technologiques majeurs dans des domaines comme les lasers de puissance, les accélérateurs dédiés, les outils d'irradiation, la chimie séparative.

*Le maintien des compétences dans un domaine de recherche passe par l'attractivité de celui-ci pour les jeunes chercheurs et la mobilisation des éléments les plus brillants. Il est difficile d'attirer de nouveaux talents vers la R&D sur les matières et déchets radioactifs sans un engagement à maintenir une industrie nucléaire sûre et performante s'intégrant dans un mix énergétique décarboné.*

## Les enjeux associés à la programmation pluriannuelle de l'énergie

La PPE impose d'instruire ou d'explorer un certain nombre de questions essentielles.

- La gestion des matières issues du recyclage implique des séquences séparation-fabrication de combustibles dédiés dont la faisabilité n'est pas assurée, elle devra être confortée par les études réalisées au titre du Plan de relance.
- La fabrication des divers combustibles MOX REP associés suppose par ailleurs de développer significativement les capacités de séparation, ce dernier point est détaillé au chapitre III.
- La gestion des déchets du parc actuel repose sur le lancement effectif du projet Cigéo dont l'avancement est présenté au chapitre IV.
- L'entreposage de longue durée ne pouvant être considéré comme une solution pérenne, les « alternatives » au stockage géologique reposent à ce jour sur la capacité à transmuter. L'état de la connaissance scientifique sur ce point est présenté au chapitre II.
- Compte tenu du nombre de sites qui seront à démanteler et à assainir à l'avenir, il est indispensable de planifier la gestion des quantités considérables des déchets TFA qui seront produits.
- La Commission regrette qu'à ce jour, malgré ses recommandations récurrentes, un concept abouti de gestion des déchets FAVL n'ait toujours pas été élaboré.

La Commission rappelle qu'il est difficile d'attirer de nouveaux talents vers la R&D sur les matières et déchets radioactifs sans un engagement à maintenir une industrie nucléaire sûre et performante s'intégrant dans un mix énergétique décarboné.



## CHAPITRE II : LES ALTERNATIVES AU STOCKAGE PROFOND

### 2.1 TENTATIVE DE DEFINITION DE LA NOTION D'ALTERNATIVE AU STOCKAGE PROFOND

Sur le plan international et depuis de nombreuses années, le stockage géologique profond est considéré comme la solution de référence, pour la dernière étape de la gestion des déchets radioactifs à vie longue. Cela ne signifie pas pour autant que d'autres options de gestion ne peuvent être envisagées, à la condition qu'elles répondent de manière équivalente aux principales motivations qui justifient le stockage géologique profond. Il faut notamment apprécier le risque associé au choix de confier la sûreté à long terme à des organisations humaines, ou à un système indépendant de l'homme et reposant sur des caractéristiques naturelles stables.

Le terme « alternative à Cigéo » est parfois employé pour désigner d'autres options de stockage profond, et en particulier d'autres formations géologiques ou d'autres sites pour l'installation de stockage. Le choix du site de Cigéo résulte de plusieurs décennies de recherches scientifiques et de concertation avec les populations concernées : la Commission considère qu'il n'y a pas lieu de le remettre en cause. On ne traitera donc dans ce chapitre que des « alternatives au stockage géologique profond » au sens propre, qui ne reposent pas sur le principe d'un stockage géologique.

Tout d'abord, la gestion des déchets radioactifs doit respecter le principe d'équité intergénérationnelle, tel qu'établi lors du sommet de la terre à Rio en 1992. Respecter ce principe met logiquement à la charge des générations qui ont bénéficié de l'énergie nucléaire, la gestion des déchets produits. Nos générations ont donc le devoir moral d'apporter sans délais excessifs une solution de gestion des déchets radioactifs respectueuse des générations futures. Cela interdit de retenir une solution provisoire sans qu'une solution définitive soit planifiée en parallèle.

En application du principe pollueur-payeur, il est également souhaitable de pouvoir évaluer dès que possible le coût complet de la solution retenue afin de s'assurer que les provisions financières mises en place par les producteurs de déchets, conformément à la loi, permettront de la financer.

Par ailleurs, les échelles de temps concernées pour la gestion des déchets radioactifs dépassent de loin l'échelle humaine. Sur ces échelles, des civilisations peuvent naître et disparaître, les sociétés peuvent progresser ou régresser. Il ne semble pas raisonnable de faire l'hypothèse de la stabilité de la société des points de vue culturel, politique, économique, scientifique ou technologique. La protection de l'homme et de l'environnement à très long terme doit donc être assurée de manière passive afin de ne requérir aucune intervention humaine.

Enfin, sur le plan technique, il est évidemment nécessaire que les solutions de gestion alternatives au stockage géologique envisagées fournissent un niveau global de sûreté et de protection de l'environnement au moins équivalent.

Les considérations qui précèdent conduisent la Commission à proposer la définition suivante.

*Une alternative au stockage profond est une installation, ou combinaison d'installations éventuellement associée(s) à des procédés de traitement et de conditionnement spécifiques, qui permet de garantir le même niveau de sûreté qu'un stockage profond pendant la même durée et sous les mêmes contraintes.*

*Une telle installation doit donc présenter les caractéristiques suivantes :*

- *permettre la gestion définitive des déchets radioactifs concernés ;*
- *atteindre des performances de sûreté à long terme aussi bonnes que celles d'un stockage géologique ;*
- *ne pas faire peser de charge sur les générations futures proches ou lointaines, ce qui suppose d'une part que la sûreté à long terme de l'installation ne nécessite pas d'intervention humaine (notion de sûreté passive) et d'autre part que son financement puisse être assuré par les moyens mis en place par la génération présente (provisions dédiées).*

*De plus, l'alternative doit s'inscrire dans le cadre légal et réglementaire en vigueur au niveau international (les traités), européen (les directives) et national (la loi, les codes).*

Cette définition qui découle des principes fondamentaux de la gestion des questions environnementales reconnus internationalement, et donc applicable à la gestion des déchets radioactifs, diffère cependant de l'acceptation du terme par certains acteurs du débat public français.

## **2.2 LES ALTERNATIVES AU STOCKAGE PROFOND PROPOSEES JUSQU'A CE JOUR**

En 2019, dans le cadre du débat public sur le plan national de gestion des déchets radioactifs, la Commission nationale du débat public a demandé à l'IRSN de dresser un état des lieux des recherches conduites sur le plan international s'agissant des alternatives au stockage profond des déchets HAVL et MAVL. Le rapport fourni par l'IRSN s'appuie sur une bibliographie très fournie. La Commission n'a pas connaissance d'éléments nouveaux depuis sa parution.

L'entreposage de longue ou très longue durée a été et reste souvent proposé comme alternative au stockage géologique, bien que les différents textes émis par la communauté internationale (dont l'AIEA et la Commission européenne), et le Code de l'environnement français, ne l'envisagent que comme une solution provisoire, mise en œuvre dans l'attente d'une solution de gestion définitive des déchets.

Sur le plan technique, l'entreposage de longue durée nécessite des interventions humaines dans la durée et donc transfère aux générations futures la charge d'assurer la sûreté.

*La Commission considère qu'il n'y a pas lieu de remettre en cause le consensus scientifique sur ce sujet et donc qu'aucune solution d'entreposage ne peut constituer une alternative au stockage profond.*

Des recherches ont cependant été conduites sur ce sujet à la suite de la loi de 1991. Il importe en effet de garantir qu'il sera possible d'entreposer pour le temps nécessaire les combustibles usés.

D'autres options mises en avant dans le passé ne sont pas réellement des alternatives, mais plutôt des *variantes* du stockage géologique. C'est ainsi que des solutions de stockage ont été envisagées dans les fonds marins, les glaces polaires ou les fosses de subduction. L'envoi des déchets radioactifs dans l'espace a également été examiné. Toutes ces voies ont été définitivement abandonnées. Le stockage des déchets en forages très profond (de 2000 à 5000 mètres, ce qui reste comparable à la profondeur de certaines exploitations pétrolières) a également été examiné, principalement aux Etats-Unis. Ce concept a été très peu étudié en France.

Au-delà de ces variantes du principe de stockage géologique profond, dont aucune ne présente d'avantage significatif, les alternatives recensées par l'IRSN à l'occasion du débat public reposent toutes sur des opérations de séparation, puis de transmutation des radionucléides à vie longue. La transmutation peut être envisagée soit dans un réacteur électrogène à neutrons rapides, soit dans une installation dédiée pour laquelle plusieurs concepts ont été proposés, à des niveaux de maturité encore modestes. Les alternatives fondées sur la transmutation seront abordées plus en détails au paragraphe suivant, qui en décrira les possibilités, mais aussi les limitations probables.

*La Commission observe que l'éventail des alternatives au stockage profond qui ont été proposées jusqu'ici est limité. Si on excepte l'entreposage de longue durée et les différentes variantes de stockage, pour la plupart abandonnées pour des raisons de sûreté ou d'atteinte à l'environnement, seuls subsistent les différents concepts fondés sur la transmutation, avec leurs perspectives et leurs limites.*

## 2.3 LA TRANSMUTATION : INTERET ET PERSPECTIVES

A l'exception du stockage en forages profonds, les alternatives au stockage envisagées aujourd'hui reposent toutes sur la transmutation des actinides mineurs. La Commission a donc estimé nécessaire de dresser un inventaire des possibilités et des limites d'une telle opération.

### 2.3.1 Qu'est-ce que la transmutation ?

L'objectif de la transmutation est de transformer par fission, à l'aide de neutrons rapides, les isotopes à vie longue des actinides mineurs en atomes stables ou à vie plus courte qu'il faudra *in fine* placer dans un stockage. Il n'est donc pas exact que la transmutation, souvent présentée comme le moyen de faciliter la gestion à long terme des déchets radioactifs les plus dangereux, élimine le recours au stockage géologique.

Quatre dispositifs prétendent aujourd'hui permettre la transmutation des actinides mineurs.

Leur niveau de maturité technologique est très différent.

Ils sont présentés ci-dessous par ordre décroissant de maturité :

- les réacteurs à neutrons rapides (RNR) refroidis au sodium sont les seules installations qui ont été construites et exploitées industriellement. Pour la transmutation, ils peuvent fonctionner en mode homogène avec un combustible MOX RNR contenant un faible pourcentage d'actinides mineurs, ou en mode hétérogène avec des couvertures chargées en actinides mineurs (ou CCAM) placées en périphérie du cœur. Des RNR de puissance existent, notamment en Russie (BN 600, BN 800), ou ont existé en France (Phénix, Superphénix). Aucun de ces réacteurs n'a été utilisé industriellement pour la transmutation ;
- les réacteurs pilotés par accélérateur (en anglais ADS) sont des installations sous-critiques dans lesquels la fission est entretenue par l'apport externe de neutrons de spallation produits par un faisceau de protons délivrés par un accélérateur. C'est le cas par exemple du projet MYRRHA (Multipurpose Hybrid Research Reactor for High-tech Application) qui est développé au SCK-CEN à Mol par la Belgique avec de nombreux partenaires européens dont l'IN2P3-CNRS et le CEA, en vue d'obtenir un premier réacteur pilote en 2038 ;
- les réacteurs à sels fondus (en anglais MSR) sont des réacteurs dans lesquels uranium, plutonium et actinides mineurs sont dissous dans des sels fondus (fluorure de lithium et fluorure de béryllium par exemple) à 700° - 800° C et participent aux réactions de fission. Ces sels jouent à la fois le rôle de caloporteur et de barrière de confinement. Aucun réacteur de ce type n'a été construit depuis les années 60. Ce concept a été récemment relancé par différents pays (Etats-Unis, Canada, Russie, Chine France) avec parfois des projets en version SMR (small modular reactor) portés par des start-ups issues du secteur numérique ou de grands groupes qui misent sur l'option nucléaire pour se diversifier (cas par exemple de Terrapower aux Etats-Unis, fondée par Bill Gates).
- les lasers : le dispositif repose sur la combinaison d'une source laser très puissante avec un dispositif permettant la fusion (deuterium et tritium) pour générer des neutrons de 14 MeV dans un réacteur à sels fondus contenant des actinides mineurs et éventuellement U et Pu. La source laser imaginée, qui utilise des fibres optiques et le CPA (Chirped Pulse Amplification) inventé par le professeur Gérard Mourou, permettrait théoriquement la transmutation des actinides mineurs avec de hauts rendements.

### 2.3.2 Les radionucléides susceptibles d'être traités par transmutation

Les radionucléides contenus dans les déchets susceptibles d'être transmutés doivent être séparés avant d'être incorporés au combustible du réacteur ou d'être conditionnés dans des combustibles spécifiques, ce qui entraîne deux conséquences.

- le procédé ne peut pas s'appliquer aux déchets MAVL, ni aux déchets HAVL déjà vitrifiés. Dans les premiers, les concentrations des radionucléides à transmuter sont trop faibles pour justifier une séparation. Pour les seconds, il faudrait préalablement détruire chimiquement la matrice vitreuse, ce qui serait une opération extrêmement complexe. Les produits de fission et les radionucléides non transmutés devraient être reconditionnés pour stockage.
- un dispositif de transmutation n'est envisageable que si l'on dispose d'installations et de procédés performants et opérationnels pour la séparation des éléments contenant les radionucléides à transmuter.

Les éléments concernés sont essentiellement les actinides mineurs et, si cela est nécessaire, le plutonium. S'agissant des actinides mineurs, les premiers résultats significatifs ont été obtenus en laboratoire sur l'américium. La transmutation pourrait éventuellement concerner le neptunium.

La transmutation des autres actinides mineurs présente peu d'intérêt vis-à-vis du stockage géologique, et dans le cas du curium, présenterait des problèmes de radioprotection majeurs. Enfin, même si elle est théoriquement possible, la transmutation des produits de fission tels que le technétium, le césium et l'iode aurait des rendements beaucoup trop faibles pour qu'une mise en œuvre industrielle soit envisagée.

La transmutation de l'américium, si elle aboutissait, pourrait permettre d'optimiser le stockage des déchets HAVL, grâce à la densification rendue possible par la réduction des émissions thermiques des déchets, et donc d'économiser la ressource rare que sera toujours l'espace de stockage. Toutefois, cette opportunité ne concernerait que les déchets qui seront produits vers la fin du siècle par un nouveau parc de réacteurs car l'application aux déchets déjà vitrifiés est irréaliste.

*La Commission souligne que l'on ne peut attendre que la transmutation permette de s'affranchir d'une installation de stockage géologique. Celle-ci restera nécessaire pour gérer les déchets HAVL déjà vitrifiés, les déchets MAVL et enfin les déchets ultimes issus de la séparation et de la transmutation.*

### 2.3.3 L'état de la recherche en matière de transmutation

La transmutation a été mise en œuvre sur des échantillons inférieurs au gramme dans des réacteurs de recherche (Halden, HFR aux Etats-Unis, Phénix en France, ...) avec des rendements atteignant 50% pour l'américium. Aucune expérience de traitement de la cible n'a été réalisée à ce jour pour en extraire l'américium restant et le transmuter totalement. L'estimation du temps nécessaire à la transmutation ultime d'une quantité donnée d'un actinide mineur résulte donc d'un calcul.

Comme la Commission l'a souligné dans ses derniers rapports, le rythme des recherches sur la transmutation en France est aujourd'hui très modeste, d'autant qu'il n'existe pas de projet visant à disposer d'une source de neutrons rapides afin de donner une impulsion forte. Il s'agit davantage d'une veille scientifique que d'une recherche propre à lever les verrous technologiques et à préparer le lancement d'un projet.

Quelques collaborations au niveau européen maintiennent une activité de recherche. Le CEA participe au projet Patricia du SCK-CEN qui s'intéresse à la transmutation du plutonium et de l'américium en ADS et en RNR-Na. De même, les projets Geniors et PUMMA concernent les MOX-RNR riches en Pu alors que les projets Inspyre et Pelgrim s'intéressent aux couvertures chargées en américium pour la transmutation en RNR. Cependant, la fermeture pour obsolescence, sans remplacement, des outils d'irradiation dans l'espace européen ne permet plus de conduire un projet de recherche sur la transmutation sans faire appel à des installations dans des pays tiers.

Aucun réacteur piloté par accélérateur n'existe à l'heure actuelle. Le projet MYRRHA serait une première mondiale et il n'existe donc pas de démonstration expérimentale de transmutation à l'aide d'un tel outil.

Un réacteur expérimental à sels fondus de faible puissance (7,4 MWth) a fonctionné à Oak-Ridge de 1964 à 1969. Il a permis de simuler la neutronique du cœur d'un réacteur nucléaire basé sur le cycle du thorium. La R&D aux Etats-unis a été récemment réactivée (Terrapower). En France, le CNRS poursuit une recherche fondamentale active et étudie un concept de réacteur à neutrons rapides de génération IV. Le CEA assure une veille scientifique. Orano annonce, dans le cadre du Plan de relance, un projet limité (4 M€), qui aurait vocation à s'associer à un projet américain.

S'agissant enfin du procédé employant un laser de forte puissance, il suppose de relever des défis technologiques à la fois sur les lasers de puissance et sur les réacteurs à sels fondus.

*Pour les déchets qui seraient produits par un parc futur, la Commission estime que, même si elles requièrent des avancées significatives, chacune des technologies de transmutation envisagées aujourd'hui pourrait déboucher sur des installations opérationnelles avant la fin du siècle à condition que des moyens de recherche et de développement très conséquents lui soient consacrés.*

### **2.3.4 Les installations industrielles nécessaires pour mettre en œuvre la transmutation**

La mise en œuvre industrielle de la transmutation des actinides nécessiterait d'abord de disposer d'installations performantes de séparation, mettant en œuvre des procédés qui ne sont pas encore tous développés industriellement et qui, en raison du caractère fortement irradiant des produits, exigeraient une radioprotection spécifique. L'état des recherches sur la séparation sera examiné au chapitre suivant.

Par ailleurs, cette voie suppose le déploiement d'un parc d'installations de transmutation. Ces installations pourraient soit être spécifiques à la destruction de certains radionucléides contenus dans les déchets - dans ce cas elles s'ajouteraient donc au parc de réacteurs électronucléaires - soit concourir simultanément à la production d'électricité (cas des RNR équipés de couvertures chargées en actinides mineurs).

28

*Dans tous les cas, les solutions de transmutation sont incompatibles avec un arrêt de la politique de retraitement des combustibles. De même, compte tenu des efforts scientifiques et industriels qu'elles supposent, elles ne peuvent s'inscrire dans un scénario d'arrêt du recours à l'énergie nucléaire en France.*

## **2.4 L'ÉVALUATION DES RECHERCHES SUR LES ALTERNATIVES AU STOCKAGE PROFOND**

La décision commune ASN-DGEC de 2020 prévoit de soutenir les efforts de recherche sur les « alternatives » au stockage profond, notamment *via* le plan de relance, travaux dont le PNGMDR proposerait de confier le suivi à un « comité d'expertise et de dialogue sur les alternatives au stockage géologique profond ».

La Commission demande que ce comité conduise sa réflexion, pour ce qui concerne les aspects scientifiques, en se fondant sur les évaluations de la CNE. La Commission veillera à mener ses travaux d'évaluation en concertation avec ce comité.

*La Commission examinera avec le plus grand intérêt tous les concepts nouveaux « d'alternative » au stockage géologique profond, scientifiquement documentés qui pourraient émerger. A cet effet, elle auditionnera les scientifiques concernés, sans se limiter aux acteurs de la loi, afin d'être en capacité d'évaluer leurs travaux pour le Parlement.*

*S'agissant des alternatives au stockage profond que constituent les RNR, les ADS, les réacteurs à sels fondus ou encore les lasers, la Commission estime qu'il sera indispensable d'établir au plus tôt un bilan des matières et des déchets pour chaque solution envisagée. La connaissance de la nature et de la quantité des déchets ultimes produits contribuerait à une évaluation objective de leur opportunité.*

## Principales conclusions intéressant la PPE 2020 :

### Les « alternatives » au stockage profond

**La Commission propose de définir les alternatives au stockage profond comme suit :**

*« Une alternative au stockage profond est une installation, ou combinaison d'installations associée(s) à des procédés de traitement et de conditionnement spécifiques des combustibles usés, qui permet de garantir le même niveau de sûreté qu'un stockage profond pendant la même durée et sous les mêmes contraintes. Une telle installation doit donc présenter les caractéristiques suivantes :*

- *permettre la gestion définitive des déchets radioactifs concernés ;*
- *atteindre des performances de sûreté à long terme équivalentes à celles d'un stockage géologique ;*
- *ne pas faire peser de charge sur les générations futures proches ou lointaines. Cela suppose d'une part que la sûreté à long terme de l'installation ne nécessite pas d'intervention humaine (notion de sûreté passive) et d'autre part que son financement puisse être assuré par les moyens mis en place par la génération présente (provisions dédiées).*

*De plus l'alternative doit s'inscrire dans le cadre légal et réglementaire en vigueur au niveau international (les traités), européen (les directives) et national ».*

**La Commission recommande que les études et recherches relatives aux alternatives développées dans le cadre de la PPE soient évaluées sur ces critères.**

**Les alternatives proposées jusqu'à ce jour reposent toutes sur la transmutation des radionucléides à vie longue. Les déchets MAVL, les déchets HAVL déjà vitrifiés et les produits de fission, dont ceux issus du processus même de transmutation, ne sont pas concernés. Au vu des connaissances actuelles et des recherches en cours, la gestion des déchets du parc futur envisagé par la PPE nécessitera donc une installation de stockage profond.**

**La transmutation ne peut être réalisée que par des neutrons rapides. Les réacteurs à neutrons rapides, prévus principalement pour utiliser le Pu, sont les installations les plus matures. D'autres technologies pourraient aussi déboucher sur des installations opérationnelles vers la fin du siècle, à condition que des moyens de recherche et de développement très conséquents leur soient consacrés.**

**Dans tous les cas, les « alternatives » au stockage profond basées sur la transmutation sont incompatibles avec l'arrêt du retraitement des combustibles.**

## CHAPITRE III : LA RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT SUR LA SEPARATION

### 3.1 GENERALITES

Les orientations de la PPE présentées en 2020 conduisent à revoir profondément les programmes de recherche dans les domaines de la séparation et de la transmutation. Selon la PPE, le multi-recyclage du plutonium en REP (MRREP) serait développé en utilisant des EPR de deuxième génération. Le MRREP est présenté comme une étape vers un futur multi-recyclage du plutonium en RNR. Les objectifs des multi-recyclages en REP et en RNR sont différents ; le premier cherche à modérer le stock de combustible utilisé MOX alors que le second vise en sus l'autonomie énergétique.

Dans ce contexte, la séparation occupe une place centrale. La Commission évalue ci-dessous les actions que les acteurs de la loi ont engagées sur ce sujet.

### 3.2 LA SEPARATION POUR LE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USES

#### 3.2.1 Retraitement du combustible utilisé UOX des REP

La France possède une expertise industrielle unique dans le retraitement des combustibles usés. Mis au point en 1946 pour extraire du Pu de qualité militaire ( $^{239}\text{Pu}$ ) à partir d'uranium métallique ou d'oxyde d'uranium irradiés avec des neutrons thermiques, le procédé Purex est mis en œuvre par Orano à La Hague pour retraiter le combustible utilisé UOX (CU UOX) du parc actuel de réacteurs électrogènes.

Les deux premières étapes consistent en une dissolution du combustible utilisé dans l'acide nitrique concentré suivie de la coextraction de U et Pu par le tributyl-phosphate (TBP) dans le kérosène. U et Pu sont ainsi séparés ensemble des produits de fission et des actinides mineurs. U et Pu sont ensuite séparés l'un de l'autre et cette opération crée deux flux : un flux Pu (solution de Pu dans l'acide nitrique) et un flux U (phase organique contenant U). Ils sont ensuite traités pour récupérer et purifier les éléments à un niveau de pureté excellent, indispensable pour leur utilisation future dans la fabrication de combustible. Le procédé Purex est complètement modélisé par le code Parex qui capitalise le retour d'expérience des ateliers pilotes du CEA de Marcoule et de l'usine de retraitement de La Hague. Les nombreuses réactions chimiques et radiolytiques qu'il implique ont été identifiées.

#### 3.2.2 Retraitement des combustibles MOX

Le retraitement des MOX usés, utilisés en REP comme dans les futurs RNR, n'a jamais été fait à l'échelle industrielle. Il comporte de nombreux défis scientifiques et technologiques.

##### a) Le retour d'expérience

Du combustible utilisé du réacteur à neutrons rapides Phénix a été retraité à La Hague. Cependant, la teneur élevée en Pu de ce MOX, 7 à 8 %, comparée à la teneur de 1% du CU UOX rendait difficile la séparation du Pu. C'est la raison pour laquelle le combustible utilisé Phénix a été

mélangé avec du combustible usé UOX afin de diminuer la teneur en Pu et de retrouver les conditions de flux du procédé Purex. La dilution entraîne une diminution des cadences de traitement et une consommation de réactifs incompatibles avec une industrialisation.

### **b) Les défis de R&D**

Aujourd'hui la France retraite 1050 tonnes/an de combustibles usés UOX d'EDF à 1 % en Pu. Avec le MRREP en 2050, il faudrait traiter 250 à 400 t/an de combustible usé MOX à 10-12 % en Pu. Ajouter au retraitement du CU-UOX celui du CU-MOX implique donc de tenir compte :

- de l'augmentation de la teneur en Pu du CU d'un facteur 10 ;
- du changement d'isotopie de Pu car l'augmentation de la teneur en  $^{238}\text{Pu}$  de 3 à 5,5 % augmente la radiolyse alpha ;
- de la puissance thermique qui accroît la radiolyse beta et gamma, et par conséquent l'exposition du personnel ;
- de l'hétérogénéité des combustibles MOX usés, d'un cycle à l'autre, à retraiter simultanément.

Plus précisément, des innovations seront nécessaires pour tenir compte de :

- la teneur en Pu et de la composition des insolubles restant au sein de la phase de dissolution nitrique ;
- la criticité du milieu de dissolution dépendant de l'isotopie du Pu ;
- la contamination des coques issues du cisailage des assemblages ;
- l'adaptation du procédé de séparation au nouveau rapport U/Pu.

32

### **c) La démarche de R&D**

Les problèmes posés par l'augmentation de la teneur en Pu dans les solutions de dissolution du CU sont connus depuis plus de dix ans et pilotent la R&D en séparation à l'échelle du laboratoire. Le CEA et la communauté française conduisent des programmes allant de la chimie théorique à l'élaboration de codes pour simuler les procédés industriels. Ils permettent d'identifier les mécanismes de dissolution et les capacités extractantes de nouvelles molécules pour U, Pu et les actinides.

La R&D est axée sur deux objectifs.

Le premier vise à utiliser le procédé Purex poussé à ses limites afin de recycler le CU MOX dans les usines actuelles. A partir de la modélisation du procédé Purex et du retour d'expérience de l'usine de retraitement de La Hague, Orano a identifié les améliorations possibles pour le retraitement des CU MOX issus du MRREP, en adaptant les installations actuelles.

*La Commission souhaite que les adaptations envisagées lui soient présentées au cours des auditions 2022.*

Le second objectif consiste à concevoir un nouveau procédé, mieux adapté à de hautes teneurs en Pu.

Deux étapes majeures sont revisitées :

### Dissolution du combustible

La première étape du retraitement, quel que soit le procédé utilisé, est la dissolution du combustible usé. Elle consiste à cisailer les assemblages de combustibles et à dissoudre les tronçons d'oxydes dans l'acide nitrique. Les cinétiques de dissolution sont peu différentes selon le type de combustible usé, mais il est bien connu que l'augmentation de la teneur en Pu accroît le taux d'insolubles et joue sur leur composition. Un vaste programme pour comprendre et améliorer la récupération du Pu a été entrepris. Pour améliorer le processus actuel de dissolution, il faut augmenter l'acidité et la température, et réduire la quantité de MOX à dissoudre par lot par rapport à celle mise en œuvre pour le combustible UOX actuel. La nature des résidus est complexe, le Pu peut former des phases pures ou être entraîné par des composés d'autres éléments.

Le CEA étudie la voloxydation du MOX qui consiste à transformer l'oxyde par traitement à chaud avec de l'oxygène. Ce procédé conduit à l'obtention d'une poudre fine, ce qui accroît le contact solide/liquide et donc la vitesse de dissolution. Cependant, pour réaliser cette étape industriellement, il faudrait séparer préalablement le combustible MOX de sa gaine. Enfin, une étape supplémentaire, dite de digestion nitrique en présence d'oxydant, permet d'obtenir un taux de récupération élevé du Pu contenu dans les résidus de dissolution.

La simulation du procédé de dissolution ainsi amélioré a donné des résultats concluants, en particulier sur la diminution du taux d'insolubles.

### Séparation Pu/U

Orano et le CEA travaillent à un procédé qui consisterait à réaliser la séparation de U et Pu en un seul cycle, sans étape de réduction, en offrant le même niveau de sûreté que le procédé Purex. Dans ce dernier, cette étape consomme dix fois plus de réactifs pour le CU MOX que pour le CU UOX. Elle produit aussi, dans les mêmes proportions que l'augmentation de réactifs, des effluents nitrates dont la gestion est difficile. Le nouveau procédé utiliserait un mono-amide à la place du TBP et la partition U/Pu se ferait en jouant simplement sur la concentration de l'acide nitrique. Bien sûr, pour se substituer au procédé existant, ce nouveau procédé doit permettre des facteurs de récupération, de décontamination en produit de fission et de purification égaux ou supérieurs à ceux du procédé Purex. S'agissant des installations, il serait souhaitable que le procédé soit compatible avec les technologies mises en œuvre actuellement.

Depuis 2010, les études de sélectivité et de résistance à la radiolyse, réalisées au CEA, ont permis de sélectionner des mono-amides et un solvant performants pour réaliser l'étape d'extraction en phase organique. Les expériences de séparation ont été conduites en laboratoire, dans Atalante. Une étude de l'extrapolation industrielle de ces expériences a été conduite. La R&D doit maintenant montrer que ce procédé reste efficace avec des concentrations élevées en Pu et arrêter le choix définitif d'un extractant. La prochaine étape de la R&D, en 2021, doit porter sur un essai à partir d'une solution issue de la dissolution d'un CU MOX réel. En parallèle, la dégradation radiolytique et l'hydrolyse du nouveau solvant continuent à être étudiées.

*La Commission observe que la faisabilité scientifique d'un procédé de substitution au procédé Purex semble acquise à l'échelle du laboratoire. Un brevet a été déposé. Néanmoins, la faisabilité industrielle n'est pas acquise. Ce procédé devrait permettre de traiter des flux de solutions riches en Pu. Il pourrait être utilisé dans le cadre du multi-recyclage du Pu en REP ce qui constituerait une étape importante en vue de la fermeture du cycle telle que prévue dans la PPE.*

### 3.3 LA SEPARATION POUR LA TRANSMUTATION

Le Chapitre II a montré que la transmutation ne concernerait que les actinides mineurs et en particulier l'américium. La transmutation, quel que soit le procédé utilisé, exige de commencer par isoler l'américium en vue de la fabrication des combustibles ou des cibles spécifiques destinés à l'irradiation. Actuellement, le procédé Purex sépare U et Pu d'une part et les produits de fission et les actinides mineurs d'autre part ; ces derniers sont aujourd'hui vitrifiés à des fins de stockage. La séparation de l'américium se situe donc en aval du procédé Purex, à partir de la solution qui renferme quasiment toute la radioactivité du combustible utilisé.

Le CEA a mis au point des procédés (Sanex, Ganex, ExAm ...), qui permettent d'isoler individuellement ou de manière groupée le neptunium, l'américium et le curium. Le CEA a acquis un socle de connaissances unique, tant sur le plan fondamental qu'expérimental, en validant ces procédés à l'échelle du laboratoire sur des solutions réelles de combustible utilisé. Ces avancées ont fait l'objet d'évaluations dans les précédents rapports de la Commission.

Par ailleurs, les expériences réalisées sur de l'américium montrent qu'il est transmuté au mieux à 50% lors d'une première irradiation. Pour atteindre un rendement significatif justifiant la transmutation, plusieurs cycles de retraitement des combustibles et cibles spécifiques devront donc être effectués avec des teneurs en actinides mineurs (AM) élevées. Une R&D soutenue en séparation est donc indispensable car il faut maîtriser le retraitement des cibles ou combustibles après des passages successifs en réacteur, nécessaires à l'obtention d'un bon rendement global.

*La Commission constate qu'il n'existe plus actuellement en France comme en Europe de capacité d'irradiation en spectre rapide sur des cibles de dimension préindustrielle. De ce fait, la France voit sa recherche sur la séparation-transmutation assujettie aux conditions d'accès à des installations dans des pays tiers, au risque de perdre la maîtrise de ses programmes et la propriété intellectuelle.*

34

Aujourd'hui, les études initiées par le CEA sur les procédés se poursuivent dans le cadre de programmes européens « Horizon 2020 » sans dépasser le stade des expériences de laboratoires. Globalement en Europe, les moyens engagés sur la séparation sont très faibles. Ils visent simplement à maintenir une communauté d'experts qui compare et modélise les résultats d'expériences passées.

Il n'existe pas de volet expérimental réellement nouveau à l'échelle européenne. L'objectif est plutôt de fédérer organismes, industriels et autorités de sûreté pour évaluer les investissements qui seraient nécessaires à une démonstration industrielle. Une partie du programme Geniors porte sur la consolidation du procédé i-Sanex (séparation américium et curium) ; le programme Patricia concerne la séparation de l'américium à partir des schémas initiaux du CEA.

### 3.4 LES ECHEANCES

Le planning de la R&D en séparation est directement lié aux perspectives de mise en œuvre du multi-recyclage en REP qui est toujours annoncée vers 2040. S'agissant des installations, 2040 est aussi une date clé puisqu'elle correspond à la rénovation indispensable d'une grande partie des installations et des ateliers de La Hague qui nécessiteront des modifications encore plus importantes s'il est décidé de mettre en œuvre le MRREP. Des essais pilotes de séparation sont prévus par Orano avant 2026.

*Dans la perspective de mise en œuvre du multi-recyclage en REP à partir de 2040, et tenant compte de la nécessaire rénovation des installations de la Hague prévue à cette date, la Commission observe que la faisabilité industrielle des nouveaux procédés de séparation devrait impérativement être établie avant 2030 pour que les calendriers présentés soient plausibles.*

### 3.5 CONCLUSION

Le multi-recyclage en REP du Pu est maintenant présenté comme la voie pour aller vers le multi-recyclage en réacteur à neutrons rapides.

Le retour d'expérience limité à quelques tonnes du retraitement du combustible usé MOX-RNR montre que le procédé Purex est à la limite de ses performances pour satisfaire les critères industriels lorsque la teneur en Pu du combustible traité est plus élevée que dans le CU UOX. Les futurs CU MOX issus du multi-recyclage en REP sont des combustibles similaires au CU MOX actuel quant à la teneur en Pu, mais avec des caractéristiques pénalisantes comme la grande variabilité d'isotopie de U et Pu. Le remplacement du procédé Purex est donc envisagé. Cela représente un défi considérable tant sur le plan scientifique que sur le plan industriel.

Par ailleurs, la teneur en Pu des futurs combustibles usés MOX RNR est encore plus élevée et son retraitement semble hors de portée du procédé Purex.

*La Commission constate qu'aucune expérience enchaînant les différentes opérations de séparation avec du combustible usé MOX n'a été conduite à l'échelle d'un procédé pré-industriel. Elle rappelle qu'il n'est pas possible de qualifier un procédé sans avoir testé son efficacité à cette échelle.*

35

Il est très difficile d'identifier les verrous scientifiques et technologiques spécifiques à lever pour mettre en œuvre un procédé adapté à l'échelle industrielle. Cette ambiguïté doit être rapidement levée car elle entretient une interrogation sur la décision à prendre quant à la jouvence des ateliers de l'usine de la Hague, à la mise en œuvre d'innovations ou à la construction d'une nouvelle usine.

*La Commission recommande de clarifier rapidement le programme de R&D et son ordonnancement. Ce programme de recherche doit permettre de statuer quant à la faisabilité industrielle du multi-recyclage en REP d'ici 2030.*

Pour la transmutation industrielle des actinides mineurs, quelle que soit la technologie utilisée, des opérations de séparation des actinides U, Pu et Am à partir d'une matière à forte teneur en Pu seront indispensables. Même si cette perspective peut paraître lointaine, les études doivent être engagées dès maintenant pour éclairer les choix possibles.

*La Commission recommande de donner aux études en séparation une haute priorité. Il en va de la crédibilité de la stratégie définie par la PPE.*

**Principales conclusions intéressant la PPE 2020 :**

**La recherche et développement sur la séparation**

**Le procédé Purex de retraitement du combustible usé à base d'oxydes d'uranium des réacteurs à eau pressurisée a été porté dans l'usine de la Hague à un niveau d'optimisation inégalé sur le plan international.**

**Pour autant, il n'est pas certain qu'il puisse, en l'état, être utilisé pour retraiter le combustible usé de type MOX prévu pour le multi-recyclage en REP et *a fortiori* celui prévu pour le multi-recyclage en RNR. A minima, une adaptation importante sera nécessaire pour traiter à l'échelle industrielle des combustibles MOX usés.**

**La R&D sur la séparation est donc un élément central pour la mise en œuvre de la PPE. Les études sur la séparation doivent être conduites avec trois objectifs distincts :**

- **le traitement de combustibles MOX REP en adaptant autant que possible le procédé Purex ;**
- **le traitement de combustibles MOX par un procédé en rupture ;**
- **la séparation des actinides mineurs en vue de leur transmutation à l'échelle industrielle.**

**Dans tous les cas, les ateliers de l'usine de la Hague doivent être remis à niveau ou profondément modifiés. Tout délai dans la mise en service des nouveaux ateliers de séparation aura pour conséquence un besoin accru en capacités d'entreposage de combustibles MOX usés.**

**La Commission constate que les outils expérimentaux disponibles ne permettent pas la validation des étapes de séparation nécessaires au traitement des combustibles MOX usés. La Commission observe par ailleurs que démontrer d'ici 2030 la faisabilité du traitement des MOX usés à l'échelle industrielle nécessite une montée en puissance des moyens consacrés à ce domaine de R&D.**

**La Commission s'interroge donc sur la cohérence entre la stratégie définie par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et les moyens mis en œuvre.**

## CHAPITRE IV : CIGÉO

### 4.1 INTRODUCTION

En France, le choix du stockage géologique pour les déchets de haute et moyenne activité à vie longue (HAVL-MAVL) est inscrit dans la Loi n°2006-739 du 28 juin 2006. Le stockage géologique profond est considéré comme la solution de référence pour la gestion à long terme des déchets de haute activité (voir chapitre II).

La sélection du site de Meuse Haute-Marne pour accueillir le projet Cigéo a été guidée par les propriétés favorables de la roche hôte, le Callovo-Oxfordien (Cox), en raison de sa faible perméabilité et de sa capacité à retenir les radionucléides. Les temps caractéristiques de transfert des radionucléides à vie longue les plus mobiles (iode, chlore, sélénium) du stockage vers l'extérieur du Cox sont de l'ordre de 800 000 ans.

L'année écoulée a été marquée pour l'Andra par des étapes administratives importantes dont le dépôt du dossier de demande de déclaration d'utilité publique (DUP) et la préparation du dossier de demande d'autorisation de création (DAC). Par voie de conséquence, la construction de ces dossiers et le suivi des procédures associées ont mobilisé une grande partie des efforts de l'agence.

### 4.2 DECLARATION D'UTILITE PUBLIQUE ET DOSSIER D'AUTORISATION DE CREATION

37

---

L'utilité publique est déclarée par décret en Conseil d'Etat. Cette étape reconnaît l'intérêt supérieur d'un projet pour la société et permet de réaliser des aménagements sur des terrains privés, en recourant à une procédure d'expropriation lorsque la recherche d'accords amiables n'aboutit pas. Pour autant, la délivrance du décret d'utilité publique n'implique pas celle subséquente de l'autorisation de création, même si elle permet de démarrer certains travaux préparatoires.

#### 4.2.1 Déclaration d'utilité publique

Un dossier de demande de DUP pour le centre de stockage Cigéo a été remis au ministère de la transition écologique par l'Andra en août 2020. Il comprend différentes pièces dont la principale est l'étude d'impact qui rend compte des bénéfices et dommages environnementaux induits par la réalisation du projet Cigéo, ainsi que des mesures envisagées pour éviter, réduire ou compenser ces derniers.

Ce dossier est en cours d'instruction par les services de l'Etat. Son dépôt a entraîné l'ouverture d'une enquête publique pour recueillir l'avis des collectivités intéressées. L'Andra espère l'achèvement de la procédure d'instruction de la demande de DUP pour le début de l'année 2022.

#### 4.2.2 Demande d'autorisation de création

En parallèle, l'Andra prépare le dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC), autre étape essentielle du projet de stockage Cigéo. Ce dossier doit faire la preuve de la faisabilité du projet avec les technologies actuellement disponibles et de sa sûreté pour l'inventaire de déchets retenu.

L'installation Cigéo est conçue pour recevoir les déchets de l'inventaire de référence, c'est-à-dire les déchets HA et MAVL issus de l'exploitation du parc actuel et ceux produits par des installations en cours de construction (l'EPR de Flamanville et l'installation de recherche ITER).

Toutefois, le projet Cigéo doit être adaptable pour permettre d'accueillir les déchets d'un inventaire de réserve en complément de l'inventaire de référence. Selon l'Andra et l'ASN, il s'agit des déchets HA et MAVL correspondant à un éventuel allongement de la durée de fonctionnement du parc actuel, de tous les combustibles usés qui ne seraient pas retraités, d'une partie des déchets destinés à la filière FAVL (colis bitumés, déchets UNGG, empilements et chemise graphites) et des déchets de petits producteurs et du nucléaire diffus. Il est utile de rappeler que Cigéo est conçu pour accueillir les déchets de l'inventaire de référence. Prendre en charge toute ou partie des déchets de l'inventaire de réserve nécessiterait d'une part une nouvelle loi, d'autre part, des études de conception et de sûreté complémentaires, et enfin un avis favorable pour le stockage de la part de l'ASN.

Selon l'Andra, le dossier de DAC devrait être déposé fin 2021 - début 2022. Son instruction par l'ASN démarrera alors et s'étendra sur une période d'environ 5 ans. Au cours de la phase d'instruction, des éléments complémentaires de justification pourront encore être fournis. Après avis de l'ASN et de la CNE, cette phase se conclura éventuellement par un décret autorisant la construction de l'installation Cigéo dans la configuration requise pour atteindre la totalité de ses objectifs, c'est à dire le stockage des déchets figurant à l'inventaire de référence.

38

Il est important de rappeler que des autorisations de mise en service seront ensuite nécessaires pour débiter les différentes phases de l'exploitation du stockage.

#### 4.2.3 Objectif de la phipil

Si le décret d'autorisation de création est délivré, le projet Cigéo démarrera par une phase industrielle pilote, dite phipil, proposée à l'issue du débat public mené en 2013 et dont le principe a été défini en 2016. La Loi n°2016-1015 prévoit en effet que « l'exploitation du centre débute par une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais *in situ*. [...] La phase industrielle pilote comprend des essais de récupération de colis de déchets ».

La phipil répond à un principe de mise en œuvre progressive inhérente à une installation industrielle complexe qui doit donc être éprouvée. Selon l'Andra, elle durera entre 15 et 25 ans : 10 à 15 ans pour la construction initiale et les essais de stockage de colis passifs, 5 à 10 ans pour le début d'exploitation de Cigéo avec des colis radioactifs. Des opérations de récupération de colis seront réalisées au cours de ces essais. La phipil sera aussi l'occasion d'acquérir sur site des données géologiques et environnementales complémentaires, utiles à la consolidation des modèles de l'Andra.

Dans le respect de la Charte de l'environnement, qui reprend les principes de la convention d'Aarhus sur l'accès à l'information et la participation du public au processus décisionnel, il est prévu que la phipil s'accompagne d'une concertation continue sur les modalités de mise en œuvre des travaux et sur l'avancement du chantier avec les citoyens et les parties prenantes.

À ce jour, les conditions techniques permettant de déclarer la fin de la phipil, et l'enclenchement de la phase d'exploitation, restent à clarifier.

*La Commission considère que la phipil aura atteint son objectif quand elle aura répondu aux enjeux suivants : la réalisation technique des composants de Cigéo, la démonstration du bon fonctionnement de l'installation via des essais de qualification, la démonstration du bon déroulement de son exploitation industrielle et la mise en pratique des modalités de gouvernance de la phipil qui doivent être définies au préalable.*

*La Commission suivra avec attention l'élaboration du programme d'essais et des objectifs retenus pour la phipil, les démarches entreprises et le résultat des campagnes d'essais réalisés pendant la phipil.*

Le décret d'autorisation de création autorisera la construction de l'installation Cigéo dans son intégralité. Les autorisations de mise en service, d'abord pour stocker certaines familles de colis dans les installations construites dans le cadre de la phipil, et ensuite pour poursuivre l'exploitation du stockage, seront accordées par l'ASN après instruction. Par ailleurs, la loi du 25 juillet 2016 prévoit le vote par le parlement d'une loi à la fin de la phipil pour décider de la poursuite ou de l'arrêt du projet Cigéo.

L'autorisation de mise en service liée à la phipil entraînera le stockage de premiers colis actifs dans Cigéo. Ceux-ci, une fois stockés, ne pourront être laissés sans surveillance. Ainsi, l'exploitation du stockage sera poursuivie jusqu'à la promulgation de la future loi et nécessairement au-delà. Pour autant, la préparation de cette loi pourrait s'accompagner d'une suspension du chantier de construction. Une suspension trop longue entraînerait irrémédiablement une démobilisation des personnels et des moyens techniques du chantier. Le moment venu, il faudra veiller à ce que les modalités de sortie de la phipil ne portent pas préjudice à la cohérence d'ensemble du projet.

#### **4.3 ASPECTS TECHNIQUES RESTANT A COUVRIR D'ICI LE DEPOT DE LA DAC ET AU COURS DE SON INSTRUCTION**

La Commission a écrit dans son rapport n°12 que le socle de connaissances constitué et organisé par l'Andra était suffisant pour asseoir la démonstration de la faisabilité et de la fiabilité du projet, tout en soulignant (rapports n°12 et 13) que des études complémentaires étaient souhaitables pour réduire certaines incertitudes et finaliser des choix technologiques apparaissant encore comme des pistes d'optimisation. Ces éléments doivent être apportés avant le dépôt de la DAC, ou pendant son instruction.

Il convient de rappeler que d'autres choix pourront s'avérer appropriés par la suite, en fonction des progrès technologiques. Ils permettront de nouvelles optimisations à plus long terme et pourront être déployés suivant le principe de flexibilité de Cigéo, en restant encadrés par la gouvernance de Cigéo d'une part et les autorisations de l'ASN d'autre part.

##### **4.3.1 La qualité et le contrôle des colis**

Les producteurs, en charge du conditionnement des déchets, doivent garantir la conformité des colis produits aux spécifications émises par l'exploitant qui doit lui-même s'assurer qu'ils respectent bien les exigences fixées.

La version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis primaires de déchets radioactifs doit être attachée à la DAC. Cette démarche, en cours de finalisation, résulte d'une concertation entre l'Andra et les producteurs. Elle doit garantir la cohérence entre les objectifs de sûreté, la conception, la connaissance des colis et les moyens de contrôler le respect des exigences. Les spécifications d'acceptation des colis de déchets, déclinées pour les catégories HAVL et MAVL, portent d'une part sur l'identification des colis et d'autre part sur leurs paramètres (géométrie, débit de dose, dégagement de gaz, ...). Pour chaque spécification d'acceptation, un dossier détaillera les exigences, leurs bases justificatives et les marges identifiées.

Dans le cas des sites de stockage existants, comme celui de Soulaines pour des déchets FMAVC (faible et moyenne activité à vie courte), la démarche est bien établie et s'organise suivant trois niveaux. Le premier niveau de contrôle requiert la validation de la conception par l'Andra qui délivre un agrément signifiant son accord sur le procédé de fabrication et les caractéristiques des colis. Le deuxième niveau prévoit que l'Andra effectue des vérifications chez les producteurs. Enfin, au troisième niveau, l'Andra réalise des contrôles systématiques et d'autres aléatoires sur les colis reçus pour s'assurer de leur conformité.

Une procédure selon les mêmes trois niveaux devra être établie pour Cigéo. Elle permettra d'assurer que seuls des colis conformes aux spécifications quitteront le site de production et évitera des transports inutiles et des retours chez les producteurs. Au troisième niveau, des contrôles systématiques à l'arrivée sur Cigéo permettront de vérifier l'identité et l'état du colis après transport. Des contrôles aléatoires complémentaires, dits « hors flux », sont également à l'étude par l'Andra.

*Les dossiers d'agrément, les procédures d'assurance qualité des producteurs et les contrôles de niveau 1 et 2 par l'exploitant doivent être à même d'assurer la conformité des colis aux spécifications du stockage. Cependant, au regard des enjeux d'exploitation et de sûreté à long terme, la Commission considère qu'une procédure de contrôle de troisième niveau à l'arrivée des colis sur le site de stockage doit être mise en place afin d'apporter toutes les garanties nécessaires et permettre à l'exploitant d'assumer sa responsabilité sur l'acceptation des colis dans Cigéo.*

*La Commission souhaite auditionner les acteurs de la loi sur les spécifications d'acceptation des colis primaires, leurs modalités de contrôle et les conséquences sur les flux de colis entre les producteurs et l'Andra. Elle souhaite aussi connaître de façon détaillée la chaîne de préparation des colis au stockage.*

Malgré la procédure de qualification de production des colis dès leur conception, des colis pourraient sortir du domaine des exigences : cela est par exemple possible pour certaines catégories de colis anciens, un nombre limité de colis très spécifiques, voire pour certains déchets sans exutoire actuellement. Outre la possibilité du reconditionnement, certains colis hors spécifications d'acceptation, mais dont les propriétés se situeraient à l'intérieur des marges identifiées, pourraient être acceptés, sous réserve de la démonstration individuelle de leur compatibilité avec le stockage, et éventuellement de dispositions particulières lors de leur mise en stockage.

*Considérant que Cigéo a pour vocation, selon la loi, d'accepter tous les déchets radioactifs de l'inventaire de référence, la Commission souhaite que l'Andra et les producteurs lui montrent comment ils pourront s'assurer que chaque colis hors spécification a bien été identifié. Elle demande que l'Andra propose des modalités de traitement des non-conformités pour les colis sortant des spécifications.*

#### 4.3.2 Travaux en soutien du dossier de DAC

##### a) Transitoires hydraulique-gaz

Après la fermeture, les vides et l'environnement proche du stockage se resatureront sur une période de quelques dizaines de milliers d'années. La durée de ce transitoire de resaturation est contrôlée par des processus thermo-physico-chimiques connus : le déplacement d'eau du Cox vers le stockage, qui survient naturellement, est freiné par la production de gaz, principalement l'hydrogène issu de la corrosion anoxique des aciers (ferraillage des alvéoles, chemisage et enfin conteneurs). Ce phénomène a lieu majoritairement dans les quartiers HA, où les exigences de réversibilité amènent à employer de grandes quantités d'acier.

Ce transitoire produit une montée en pression temporaire dont l'effet s'ajoute aux contraintes mécaniques liées au massif rocheux et au transitoire thermique. La Commission dans son rapport n°12 avait recommandé une étude approfondie de ces transitoires pour améliorer la compréhension et la quantification de leurs impacts sur les scellements d'une part et sur les propriétés du Cox d'autre part.

Les recherches conduites par l'Andra ont permis des avancées significatives. L'Andra a pu établir une évaluation détaillée de la chronique de production nette d'hydrogène attendue après la fermeture. L'Andra a également amélioré la quantification de la capacité de migration de ce gaz dans l'ensemble multi-matériaux que constitue le stockage, en affinant la connaissance des perméabilités relatives et des pressions d'entrée capillaires.

Les calculs permettent de prévoir l'évolution de la pression de gaz, au sein des alvéoles HA, MAVL et des ouvrages de scellement. Les pressions calculées restent inférieures à 10 MPa, en intégrant les hypothèses sur les incertitudes et les marges retenues par l'Andra. Ce résultat est à comparer à la contrainte totale verticale minimale dans le stockage (11 MPa) qui détermine l'amorçage des micro-fissures dans le Cox sous l'effet de la pression de gaz. Selon l'Andra, la pression de gaz est donc inférieure à la résistance à l'amorçage de micro-fissures dans le Cox.

En outre, des concepts de scellement impliquant des matériaux perméables aux gaz sont actuellement à l'étude : les premiers résultats indiquent qu'ils favoriseraient la dissipation de l'hydrogène dans l'ensemble du stockage et permettraient ainsi de diminuer la pression maximale de l'ordre de 1 MPa.

*La Commission observe que le critère de conception du stockage vis-à-vis de la fissuration à très long terme est respecté.*

*Elle demande que l'Andra explicite les marges liées d'une part aux processus physique (modèles, paramètres et incertitudes associées), et d'autre part, aux modalités techniques (scellements, inventaire des ressources d'hydrogène).*

*La Commission recommande que soient finalisés, avant la fin de l'instruction de la DAC, les concepts de scellements ainsi que leur intégration cohérente dans la démonstration dans le respect des marges actuelles.*

Ces éléments scientifiques et techniques de quantification des processus et des marges associées permettent d'asseoir la démonstration de l'évaluation de sûreté : ils devront être confirmés au moment de l'obtention de l'autorisation de création. Les optimisations liées à la réduction à la source de la production d'hydrogène pourront être considérées à long terme, pour les quartiers HA1 et HA2 (en raison de la date lointaine de leur construction). Pour le quartier HA0, la question ne se pose pas compte tenu de la faible quantité d'acier comparée à la quantité globale d'acier prévue pour le stockage des HAVL.

## **b) Maîtrise des incertitudes géologiques et maquette numérique**

Le socle de connaissances de l'Andra sur le Cox comprend notamment des informations de géométrie, de propriétés physiques (pétrophysiques, hydrogéologiques, géomécaniques) ainsi que les incertitudes associées à ces paramètres. Ces informations sont utilisées aujourd'hui par l'Andra pour construire une maquette numérique. À terme, cet outil permettra d'intégrer dans une visualisation en trois dimensions la position du stockage et de tous ses éléments constitutifs en relation avec les caractéristiques géométriques du Cox. Il permettra en particulier de faciliter l'intégration du stockage dans son environnement souterrain et de préciser son architecture, notamment pour garantir la présence des gardes inférieure et supérieure d'argile.

*La Commission considère que l'outil numérique de visualisation du stockage dans son environnement géologique donne à l'Andra les éléments utiles pour la définition finale de l'architecture de l'objet dans son environnement.*

42

*Cet outil est un des éléments de démonstration de Cigéo auprès de ses évaluateurs. La Commission préconise son utilisation dans les instances de concertation autour de Cigéo.*

*Cet outil numérique pourra utilement intégrer les informations acquises lors de la phipil dans une démarche d'amélioration continue de la connaissance. Il devra aussi être mis à jour pour représenter aussi précisément que possible le stockage tel qu'il sera réalisé. La Commission recommande qu'il soit pleinement intégré dans la démarche de jumeau numérique de Cigéo tout au long du projet.*

### **4.3.3 Etudes complémentaires entre la demande et la délivrance du décret d'autorisation de création**

Comme mentionné plus haut, il est d'ores et déjà prévu que des éléments venant compléter le dossier de DAC puissent être fournis au cours de la phase d'instruction.

### **a) Laboratoire souterrain**

L'Andra a prévu de lancer des études complémentaires dans le laboratoire souterrain. Le chantier 4, prévu jusqu'à 2024, doit apporter certains éléments de consolidation du dossier de DAC et alimenter la phase d'instruction. Ce chantier doit constituer une étape importante pour vérifier l'adéquation des méthodes de construction prévues pour Cigéo avant le début du creusement.

Un des enjeux principaux du chantier 4 porte sur la réalisation de grands démonstrateurs à l'échelle 1. Des essais doivent permettre de confirmer les techniques de construction des alvéoles MAVL à l'échelle, des alvéoles HA de grande longueur, ainsi que des carrefours dans des conditions représentatives de la configuration finale de Cigéo. Le chantier 4 prévoit également la réalisation d'ouvrages de fermeture (remblais et scellements) pour tester différents matériaux et configurations constructives.

*La Commission note avec satisfaction la mise en œuvre d'un plan d'essais in situ et à l'échelle, qu'elle a demandé à plusieurs reprises. Elle suivra avec attention les résultats de ces essais et leur utilisation en soutien à l'instruction du dossier de DAC.*

Le plan d'essais comprend également le test de dispositifs de balayage à l'azote des alvéoles HA destinés à évacuer l'hydrogène dégagé dans ceux-ci pendant la phase d'exploitation. Des dispositifs innovants de limitation des transferts de gaz entre les galeries et les alvéoles HA seront également étudiés.

*La Commission note que l'Andra intègre l'étude de dispositifs de balayage actifs dans son plan d'essais. Elle réitère sa recommandation de concevoir des alvéoles au fonctionnement passif, en limitant les connexions entre intérieur et extérieur des alvéoles.*

*Si l'Andra maintient l'utilisation de dispositifs actifs, la Commission demande que les résultats des essais soient utilisés pour faire une analyse globale des gains de sûreté, en intégrant les risques de défaillance.*

### **b) Déchets bitumés**

À l'occasion de l'instruction du dossier d'options de sûreté de l'installation Cigéo, l'ASN, dans un avis de janvier 2018, avait émis des réserves relatives à la maîtrise du risque d'incendie dans un alvéole MAVL contenant des colis de déchets bitumés. Dans son rapport n° 12, la Commission avait recommandé la mise en place d'une revue internationale pour examiner plus précisément la gestion des déchets MAVL bitumés. Cette revue a rendu ses conclusions en juin 2019. La Commission a examiné ce rapport et produit à l'attention de l'OPECST un avis, annexé au rapport n° 14 publié en 2020, dans lequel elle approuve les propositions de la revue et recommande de les mettre en œuvre sans tarder. De son côté, l'ASN, dans son avis du 1<sup>er</sup> décembre 2020, a appelé les producteurs à développer un programme ambitieux de caractérisation des colis de déchets bitumés pour prendre en compte les éléments techniques nouveaux mis en évidence par la revue internationale.

Le CEA a présenté à la Commission le nouveau programme de travail quadripartite élaboré avec Orano, l'Andra, et EDF pour répondre, notamment, aux recommandations de la revue internationale, lequel comporte quatre volets :

- l'étude de la réactivité des enrobés soumis à une température externe allant jusqu'à 200°C ;
- la modélisation des essais à l'échelle 1 et des effets du vieillissement des enrobés (dont la formation de bulles d'hydrogène par radiolyse) ;
- la démonstration de la maîtrise du gonflement des bitumes par reprise d'eau et de son effet mécanique sur le Cox ;
- l'étude de faisabilité d'un procédé de destruction des enrobés par dissolution chimique (pour des quantités limitées de fûts d'enrobés bitumineux). Le procédé s'inspirera des travaux conduits par le SCK-CEN avec lequel des échanges sont envisagés.

Ces travaux, dont le calendrier précis n'était pas encore disponible au moment de l'audition, devraient s'achever vers 2025.

L'Andra, de son côté, a indiqué à la Commission que le dossier de DAC sera robuste vis-à-vis du choix ultérieur concernant le stockage des déchets bitumés (stockage en l'état ou après traitement du bitume), puisque l'option la plus pénalisante (c'est-à-dire le stockage en l'état) est prise en compte dans le dimensionnement et l'analyse de sûreté en exploitation.

*La Commission note avec satisfaction que les travaux présentés répondent à l'ensemble des propositions de la revue internationale qu'elle avait approuvées. Compte tenu du calendrier envisagé, la Commission demande qu'un point d'avancement lui soit présenté dans deux ans.*

## 4.4 GOUVERNANCE OPERATIONNELLE ET CONCERTATION

### 4.4.1 Gouvernance de Cigéo

La gouvernance d'un projet s'entend comme la mise en œuvre d'un ensemble de dispositifs devant permettre une meilleure coordination des acteurs concernés. Il s'agit de définir comment les décisions sont préparées, prises et appliquées dans un contexte caractérisé par l'implication de plusieurs parties. S'agissant de la gestion des déchets nucléaires, la notion de gouvernance est plus largement abordée dans le panorama international présenté au chapitre V.

*Selon la CNE, il convient de distinguer deux niveaux de gouvernance.*

*Le premier niveau est la gouvernance stratégique des matières et déchets nucléaires. Conformément aux dispositions législatives, il est conduit par la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) qui s'appuie sur le plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR).*

*Le second niveau est la gouvernance opérationnelle du projet Cigéo. Piloté par l'Andra, il doit assurer en toute transparence la mise en œuvre et la bonne gestion du stockage géologique des déchets radioactifs. Bien entendu, des interactions existent entre ces deux niveaux de gouvernance ce qui amène l'Andra à consulter régulièrement la DGEC.*

En tant que maître d'ouvrage du projet Cigéo, l'Andra est seule responsable de la sûreté du stockage, et des décisions concernant sa construction et son exploitation. En ce sens, son rôle prévaut, même sur celui des producteurs de déchets. Les parties prenantes agissant au nom de la société civile participent à la concertation en amont des prises de décision. Elles ont une mission de suivi, d'information, de consultation et de concertation. Il en va ainsi du comité local d'information et de suivi (Clis) du laboratoire de Bure. Les discussions menées en son sein permettent d'identifier les attentes locales et l'Andra étudie ensuite la possibilité de les intégrer dans son projet.

À ce jour, l'Andra a évoqué trois options de gouvernance. Toutefois, le sujet manque encore de maturité.

*La Commission rappelle l'importance d'une définition claire et partagée du périmètre et des modalités de mise en œuvre de la gouvernance opérationnelle du projet Cigéo, dès l'autorisation de création du stockage. Le schéma adopté doit définir qui est concerné, pourquoi, comment et quand. Sa simplicité est également un gage d'efficacité.*

#### 4.4.2 Concertation

La concertation lors de la phase opérationnelle suppose la mise en place d'un processus au cours duquel les citoyens ont la possibilité de donner leur avis. Elle est d'autant plus pertinente que les citoyens s'approprient les sujets discutés. L'information du public est donc un élément clé de la concertation. La conception du projet Cigéo s'appuie sur un ensemble de connaissances scientifiques et techniques accumulées au cours des trente dernières années. Celles-ci sont régulièrement évaluées par la Commission.

*Les évaluations de la Commission sont publiques. Elles sont donc accessibles à toutes les parties prenantes pour éclairer les débats d'un point de vue scientifique.*

### 4.5 EVOLUTION DE L'ANDRA

#### 4.5.1 Perspectives R&D

L'Andra conduit actuellement une réflexion concernant sa vision stratégique de la R&D pour les quinze prochaines années. La maîtrise des risques est toujours au cœur de sa stratégie. Les enjeux liés au numérique sont également très présents : simulation numérique et jumeau numérique, suivi et intégration pérenne des données.

L'Andra souhaite aussi développer sa recherche en associant les aspects environnementaux et sociétaux à une gestion adaptée aux enjeux de sûreté dans le choix des filières de déchets.

Les efforts des trente dernières années ont conduit à l'établissement d'un socle de connaissances qui soutient la démonstration de la sûreté du projet qui sera déposé dans le cadre de la DAC. Après cette phase de capitalisation des connaissances et de conception, une R&D continue sera indispensable. Les efforts futurs de recherche viseront à réduire des marges ou des hypothèses excessivement conservatives. La mise à jour des connaissances, notamment grâce à l'accès à la formation géologique et au retour d'expérience d'exploitation, est également indispensable pour les prochains rendez-vous du projet Cigéo. Enfin, la durée d'exploitation et la flexibilité de Cigéo (notamment pour des composants dont la construction ne commencera que dans plusieurs dizaines d'années) offrent également la possibilité d'explorer de nouvelles options (matériaux, méthodes constructives) du fait des progrès scientifiques et technologiques.

Le laboratoire souterrain est une installation qui jouera un rôle important dans cette programmation de la recherche. Sa situation au cœur de la couche argileuse permet de définir des programmes de tests directement transposables à Cigéo. Ce rôle sera d'autant plus important que le statut d'INB de Cigéo rendra difficile d'y réaliser certains tests pendant l'exploitation.

*L'exploitation de Cigéo nécessitera jusqu'à sa fermeture, et donc pendant plus de cent ans, de tester des innovations et des adaptations, ce qui ne saurait être réalisé dans une installation nucléaire de base en fonctionnement. La Commission considère qu'il sera nécessaire de maintenir en activité le laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne pendant toute l'exploitation du stockage.*

#### 4.5.2 Transmission des savoirs et compétences

Au moment où l'Andra s'apprête à étendre ses compétences depuis les métiers d'étude, recherche et conception, vers les métiers de la réalisation, de l'exploitation et d'architecte ensemblier, la transmission des savoirs est un enjeu capital. D'une part, il s'agit de conserver la mémoire de trente années de R&D sur Cigéo ainsi que la traçabilité des données. D'autre part, le projet doit organiser la mémoire des choix techniques, en particulier dans la démarche incrémentale de construction et d'exploitation de Cigéo. Compte tenu de la durée de la construction et des opérations, cette transmission impliquera plusieurs générations successives.

*La Commission recommande que l'Andra soit vigilante sur l'évolution à long terme de l'ensemble des métiers critiques et des formations associées.*

**Principales conclusions intéressant la PPE 2020 :**

**Projet Cigéo**

**L'obligation de gérer les déchets radioactifs est indépendante des orientations de la planification pluriannuelle de l'énergie (PPE).**

**Le stockage géologique profond des déchets ultimes de haute et moyenne activité à vie longue (HA et MAVL) est la solution de référence. Sa mise en œuvre s'appuie sur un socle de connaissances théoriques et expérimentales robustes.**

**La PPE ne modifie pas l'inventaire de référence des déchets destinés à Cigéo. Elle n'a donc pas d'impact sur le dépôt de la demande d'autorisation de création.**



## CHAPITRE V : PANORAMA INTERNATIONAL : VERS UN PROCESSUS DE GOUVERNANCE

L'établissement d'une gouvernance structurée et respectueuse de la culture de prise de décision d'un pays est une condition nécessaire pour progresser dans toute problématique de long terme, en particulier s'agissant de la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Cela est apparu clairement ces trois dernières décennies, pendant lesquelles de nombreux pays ont évolué progressivement d'une phase dans laquelle une recherche pluridisciplinaire était l'aspect prédominant de la gestion des déchets radioactifs, vers une phase de mise en œuvre de solutions dans laquelle les aspects scientifiques, socio-politiques, éthiques et économiques, se sont révélés d'égale importance. Ce chapitre se propose de faire une synthèse de cette évolution pour quelques pays d'Europe, l'Amérique du Nord et le Japon. Une description plus détaillée, pays par pays, figure dans l'annexe X.

L'absence manifeste d'avancement dans la gestion des déchets radioactifs au sein de nombreux pays européens exploitant des réacteurs nucléaires a amené la Commission européenne à proposer et faire adopter la directive « pour la gestion responsable et sûre des combustibles usés et des déchets radioactifs ». Cette directive met l'accent sur l'importance, pour tous les Etats membres, de disposer d'une politique solide de gestion des flux de déchets radioactifs, de leur production à leur stockage dans des formations géologiques appropriées aux concepts techniques choisis.

La convention d'Aarhus est la référence internationale indiquant comment procéder dans l'instruction d'une décision ayant un impact environnemental en impliquant la société dans son ensemble : les citoyens ainsi qu'un large éventail de parties prenantes. Par ailleurs, l'expérience montre qu'il est crucial de reconnaître qu'à toutes les étapes de la prise de décision, une attention aiguë doit être accordée à l'interaction avec la société. Il est tout aussi crucial de bien distinguer, comme évoqué au chapitre IV, la gouvernance conduisant à des décisions stratégiques (gouvernance stratégique) de la gouvernance conduisant à des décisions opérationnelles (gouvernance opérationnelle).

Les principaux aspects qui sont généralement considérés comme contribuant à une bonne gouvernance sont décrits ci-dessous :

- les rôles en matière de prise de décision doivent être clairement distribués, par exemple entre l'organisation en charge de la gestion des déchets radioactifs et les producteurs de déchets, ou entre les différentes autorités concernées ;
- un référentiel de gestion des flux de déchets radioactifs doit être établi, déclinant les différents choix de concept en fonction des enjeux scientifiques et techniques. Dans ce cadre, il est aussi important d'être à même de reconnaître ce qui est scientifiquement et techniquement acquis que d'identifier ce qui doit être développé plus avant. Des revues itératives de sûreté permettent d'identifier les questions qui restent à résoudre ;
- les acquis scientifiques reposent sur un consensus résultant d'un système de revue par la communauté scientifique qui, par nature, n'implique pas l'ensemble des parties intéressées. En revanche, on constate que, dans la plupart des pays, les moyens ne sont pas en place pour établir la confiance basée sur la reconnaissance de ces acquis par l'ensemble des parties prenantes, de sorte d'éviter leur remise en cause périodique sans fondement scientifique ;
- compte tenu de la longue durée de vie du projet, les évolutions scientifiques et techniques nouvellement acquises devraient pouvoir être intégrées ;
- la sélection des modes de gestion et leur concrétisation au niveau local doivent résulter d'un programme transparent basé sur des critères scientifiques ;

- un ensemble clair de règles de sûreté doit être établi par les autorités compétentes ;
- un calendrier prévisionnel des jalons de prise de décision à court et long terme doit permettre de planifier les travaux. Ce calendrier doit être établi en concertation avec l'ensemble des parties intéressées et arrêté dès le départ ;
- le système de financement doit être crédible pour faciliter la planification du travail tant à court qu'à long terme afin de permettre l'établissement d'une relation de confiance entre le porteur du projet et les parties prenantes pour sa réalisation;
- les parties prenantes sont consultées avant la prise de décision. Il est important d'identifier clairement les différents intervenants en fonction de leur nature et de leur représentativité.

Le défi est d'établir, sur la base de ces éléments, une gouvernance qui soit scientifiquement, politiquement, économiquement et socialement acceptable. Un aperçu de la façon dont différents pays ont relevé ce défi pour la gestion de leurs déchets radioactifs au cours du temps, est donné à l'annexe X. L'observation et l'analyse du déroulement de la mise en place d'une telle gouvernance dans ces pays conduit aux constatations ci-après.

Les processus de gouvernance stratégique ou opérationnelle aboutis sont basés sur un dialogue impliquant toute la société. Le citoyen se voit donner les moyens de participer au débat via des procédures claires et transparentes. Les parties prenantes sont clairement identifiées dans leur rôle et leur niveau de représentativité, notamment les régions et municipalités concernées, les territoires où seront entreposés des déchets et les organisations non gouvernementales.

La gouvernance stratégique se base sur une vision à long terme claire et partagée fixant les objectifs à atteindre notamment en matière de sûreté. Etablir et mettre en application cette vision est une responsabilité sociétale et relève d'abord du domaine politique. On constate que les pays qui atteignent leurs objectifs ont un processus décisionnel proactif au niveau politique, tant à l'échelon national que local. On observe aussi qu'aucune décision, de stockage ou d'entreposage de longue durée, ne parvient à s'imposer dans un pays en l'absence d'accord sur une vision sociétale de long terme au niveau national et local.

Chaque processus permet d'ouvrir le débat, mais aussi de le conclure pas à pas. Il s'appuie sur un programme jalonné dont les grandes étapes sont définies quant à leur but, les moyens à déployer, l'évaluation et l'approbation des résultats. La clôture pas à pas des débats est en effet essentielle pour faire progresser le processus. Les différentes étapes du processus, qui doivent être connues et acceptées, s'appuient sur un programme de recherche spécifique et évolutif, afin que les décisions soient prises sur une base scientifique solide. La décision intègre aussi des choix de société qui tiennent compte du contexte de l'époque, et dont le fondement doit être explicite à l'aide des sciences humaines et sociales. Ainsi, la décision relève d'une approche holistique intégrant les aspects techniques et sociétaux.

L'absence de décision, par manque de dynamisme ou de transparence de la gouvernance, a généralement pour conséquences le désintérêt et la perte d'implication et de confiance des citoyens.

On peut également tirer de cette analyse quelques bonnes pratiques au vu des expériences internationales :

- la mise en place de la gouvernance et du dialogue qui la soutient doivent faire l'objet d'une élaboration et d'une validation en commun avec implication de l'ensemble des parties prenantes. La reconnaissance de la validité du processus est un prérequis nécessaire à l'acceptabilité des décisions ;

- dès le départ, il est nécessaire d'établir clairement, et à tous les niveaux, le rôle et le domaine de légitimité des acteurs impliqués dans ce processus : producteurs de déchets, responsable de la gestion des déchets, autorités responsables (administrations de l'Etat, autorités locales et régionales, autorités de sûreté, ...), citoyens, riverains, organisations non gouvernementales, ...
- l'organisation de la publicité et de la transparence des débats, et des décisions, est essentielle ;
- le processus de clôture des débats et de prise de décisions doit être connu et respecté. Les choix faits et validés, qui répondent aux objectifs initiaux, ne doivent pas être remis en cause. Ils ne peuvent être réexaminés que sur la base d'éléments nouveaux péremptaires et fondés scientifiquement, selon des modalités à nouveau convenues à l'avance et transparentes. Cela est nécessaire pour que le processus avance vers des décisions concrètes dont la légitimité soit reconnue ;
- lors des différentes étapes, qui peuvent être décisionnelles ou d'exécution, la gouvernance mise en place doit s'adapter au but poursuivi. Ainsi, il faut distinguer entre la gouvernance à mettre en place pour choisir la solution parmi les différentes possibilités disponibles qui permettent d'atteindre l'objectif fixé, et la gouvernance qui permet de mettre en œuvre la solution retenue ;
- le processus, dont l'expérience montre qu'il se déroule sur des temps très longs, doit être rigoureusement documenté afin de conserver l'historique des décisions et de leur motivation ;
- il est nécessaire d'assurer le financement dans la durée de la mise en œuvre du processus de gouvernance et de la recherche qui le soutient et de se prémunir de toute décision circonstancielle.

*La Commission constate la nécessité d'établir un processus de gouvernance stratégique clair et transparent, condition requise pour la bonne gestion sur le long terme des matières et déchets radioactifs. Ce processus vise en premier lieu à établir l'engagement de la communauté nationale dans la recherche proactive d'une solution respectueuse des générations futures tout en tenant compte des intérêts légitimes des populations locales directement impliquées aujourd'hui.*

*Chaque type de gouvernance est spécifique à la question à résoudre et à la culture démocratique du pays concerné. Il s'appuie sur les acquis de la recherche, y compris en sciences humaines et sociales. Il identifie les responsabilités des différents acteurs en particulier dans l'enchaînement des décisions.*

*Qu'elle soit stratégique ou opérationnelle, la gouvernance doit être structurée et documentée, permettant ainsi de progresser et de conclure pas à pas selon des procédures claires et transparentes dans le cadre d'un dialogue respectueux. Elle doit pouvoir s'adapter aux évolutions diverses qui ne manqueront pas de survenir au cours du temps. Elle implique à l'aboutissement du processus de décider sur la base des conclusions formulées.*

*Le maintien d'une dynamique décisionnelle efficace, en matière de gestion des déchets radioactifs, est un élément essentiel du maintien des compétences scientifiques et techniques dans un secteur qui n'est actuellement pas en expansion en Europe.*

## GLOSSAIRE

A & D : assainissement et démantèlement

ADS : accelerator driven system, ou réacteur nucléaire piloté par un accélérateur en français, encore appelé système hybride (couplant un accélérateur de particules à un réacteur sous-critique)

AECL: société canadienne responsable de la recherche, du développement et de la commercialisation des technologies civiles nucléaires (« Atomic Energy of Canada Limited » en anglais)

AIEA: agence internationale de l'énergie atomique

AM : actinides mineurs

Am : américium

Andra : agence nationale de gestion des déchets radioactifs

ASN : autorité de sûreté nucléaire

BTP : bâtiment et travaux publics

BN600 : réacteur à neutrons rapides russe de 600 MWe, centre de Beloïarsk

BN800 : réacteur à neutrons rapides russe de 800 MWe, centre de Beloïarsk

CCAM : couverture chargée en actinides mineurs

CCAm : couverture chargée en américium

CEA : commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Cigéo : projet de stockage géologique de déchets de haute et moyenne activité à vie longue (HA et MAVL)

CIRES : centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage de l'Andra dédié aux déchets de très faible activité

CLIS : commission locale d'information et de suivi du laboratoire de Bure

CNE : commission nationale d'évaluation

CNRS : centre national de la recherche scientifique

COMOR : commission d'orientations du 5<sup>ème</sup> PNGMDR installée par la DGEC

COVID-19 (ou encore "SARS-CoV-2") : "CO" signifie corona, "VI" virus et "D" a été choisi pour "disease" (maladie en anglais). Le chiffre 19 indique l'année de son apparition (2019)

Cox : argilites du Callovo-Oxfordien (roches argileuses fortement compactées et à très faible perméabilité)

CPA : chirped pulse amplification

CU UOX : combustible d'oxyde d'uranium usé

CU MOX : combustible mixte d'oxyde d'uranium et de plutonium usé

DOE : ministère américain de l'énergie (« department of energy » en anglais)

EDF : électricité de France

ENRESA : entreprise nationale chargée de gérer les déchets radioactifs en Espagne

EPR : réacteur à eau pressurisée de 3<sup>ème</sup> génération de 1650 MWe (« european pressurized reactor » en anglais),

ESFR : projet européen dédié aux réacteurs à neutrons rapides

ETI : entreprise de taille intermédiaire

DAC : demande d'autorisation de création

DGEC : direction générale de l'énergie et du climat du ministère de la transition écologique

DGRI : direction générale de la recherche et de l'innovation du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation

DUP : déclaration d'utilité publique

FAVL : déchets de faible activité à vie longue

FMA-VC : déchets de moyenne activité à vie courte

GIFEN : groupement des industriels français de l'énergie nucléaire

HAVL : déchets de haute activité à vie longue

ICEDA : installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés exploitée par EDF (sur le site de la centrale de Bugey)

ICPE : installation classée pour la protection de l'environnement

INB : installation nucléaire de base

INSERM : institut national de la santé et de la recherche médicale

IN2P3 : institut national de physique nucléaire et de physique des particules dépendant du CNRS

IRSN : institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

ITER : projet international dédié à la recherche sur les réacteurs à fusion contrôlée dans un tokamak

MAVL : déchets de moyenne activité à vie longue

MOX : combustible composé d'un mélange d'oxydes (« mixed oxides » en anglais, UO<sub>2</sub> et PuO<sub>2</sub>)

MRREP : multi-recyclage de plutonium en REP (réacteur à eau pressurisée)

MSR : réacteur à sel fondu (« molten salt reactor » en anglais),

MSR-R : réacteur à sels fondus à neutrons rapides

MYRRHA : projet proposé par les belges du SCK-CEN pour la mise en œuvre d'un ADS ou système hybride (« multipurpose hybrid research reactor for high-tech application » en anglais)

NRC : autorité de sûreté nucléaire américaine (« nuclear regulatory commission » en anglais)

ONDRAF : organisme national belge chargé de gérer les matières et déchets radioactifs

OPECST : office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques

Orano : multinationale française spécialisée dans les métiers du combustible nucléaire, de l'amont à l'aval du cycle (anciennement Areva)

Poma : entreprise française spécialisée dans la fabrication de systèmes de transport par câble

PCA : plan de continuité d'activité

PIA : programme d'investissement d'avenir

PNGMDR : plan national de gestion des matières et déchets radioactifs

PME : petite et moyenne entreprise

PMLT : plan à moyen et long terme

PPE : planification pluriannuelle de l'énergie

Purex : procédé industriel de traitement des combustibles usés permettant d'extraire et de recycler l'uranium et le plutonium (« plutonium uranium refining by extraction » en anglais)

RCD : reprise et conditionnement des déchets radioactifs anciens

55

---

REP : réacteur à eau pressurisée

REX : retour d'expérience

RNR Na : réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium.

SCK-CEN : centre de recherche de Mol en Belgique

SKB : entreprise suédoise de gestion des déchets radioactifs

SMR : petit réacteur modulaire (« small modular reactor » en anglais)

TRL : échelle maturité technologique d'un projet ou d'un système (« technology readiness level » en anglais)

UOX : oxyde d'uranium

URE : uranium de retraitement enrichi (assemblages combustibles)

UNGG : filière de réacteur à uranium naturel (pour le combustible) graphite (pour le modérateur) gaz (pour le caloporteur)

UNSCEAR : comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (« United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation » en anglais)

URE : uranium de retraitement enrichi

TBP : tributyl-phosphate, ou phosphate tributylque, solvant organique permettant l'extraction sélective de l'uranium et du plutonium

TFA : déchets de très faible activité

WIPP : centre américain de stockage de déchets radioactifs militaire, à Carlsbad, Nouveau-Mexique (« waste isolation pilot plant » en anglais)





## ANNEXE I : COMPOSITION DE LA COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

**Gilles PIJAUDIER-CABOT** – Président de la Commission nationale d'évaluation – professeur des universités et directeur exécutif de l'ISite E2S, Université de Pau et des Pays de l'Adour – membre sénior de l'Institut universitaire de France.

**Jean-Claude DUPLESSY** – Expert invité de la Commission nationale d'évaluation – ancien président de la Commission nationale d'évaluation – membre de l'Académie des sciences – directeur de recherche émérite au CNRS.

**Anna CRETÍ\*** – Professeur des universités, université Paris Dauphine, Senior Research Fellow, département d'économie, école Polytechnique – External affiliate, University of California Environnement, Energy and Economics, Berkeley and Santa Barbara.

**Christophe FOURNIER** – Ingénieur général hors classe de l'armement (2S).

**Philippe GAILLOCHET** – Directeur de service – Assemblée nationale (1977 – 2015).

**Olivier GALLAND\*** – Sociologue – directeur honoraire du GEMASS – Sorbonne université.

**Robert GUILLAUMONT** – Expert invité de la Commission nationale d'évaluation – membre de l'Académie des sciences – membre de l'Académie des technologies – professeur honoraire Université Paris Sud Orsay.

**Saida LAÂROUCHI ENGSTRÖM** – Ingénieur – conseillère en charge des affaires publiques – Vatenfall – Suède.

**Vincent LAGNEAU** – Professeur d'hydrogéologie et géochimie de l'Institut Mines Télécom – directeur du Centre de géosciences à MINES ParisTech.

**Emmanuel LEDOUX** – Expert invité de la Commission nationale d'évaluation – directeur de recherche honoraire à l'École des mines de Paris.

**Mickaële LE RAVALEC** – Vice-présidente de la Commission nationale d'évaluation – Chef du département Sciences pour le Sol et Sous-Sol, direction Sciences de la Terre et Technologies de l'Environnement, à IFPEN.

**Maurice LEROY** – Vice-président de la Commission nationale d'évaluation – membre associé de l'Académie nationale de pharmacie – professeur honoraire - École européenne de chimie, polymères et matériaux de Strasbourg.

**Virginie MARRY** – Professeur des universités, Sorbonne université.

**José Luis MARTINEZ** – Directeur de recherche au CSIC (institut de science de matériaux, Madrid, Espagne), représentant officiel de l'Espagne au sein du Forum européen sur les infrastructures de recherche (ESFRI, Commission Européenne), responsable du groupe stratégique en physique et ingénierie.

**Jean-Paul MINON** – Directeur général de l'ONDRAF de 2006 à 2017 – Belgique.

---

\* Membres ayant démissionné en janvier 2021



## ANNEXE II : ACTIVITE DE LA COMMISSION

Depuis la publication de son précédent rapport en juin 2020, la Commission a présenté son rapport n°14 à l'OPECST et aux départements ministériels concernés. Une délégation de la Commission s'est rendue à Bure le 29 octobre 2021 pour échanger avec les membres du Comité local d'information et de suivi (CLIS) du laboratoire de Bure (Cf. Annexe III).

La Commission a également analysé, à la demande de l'OPECST, l'impact de la crise de la Covid 19 sur les études et recherches portant sur la gestion des matières et des déchets radioactifs. Ce travail a fait l'objet d'une note d'information au Parlement (Cf. Annexe VII) qui a été présentée lors d'une audition organisée par l'OPECST le 25 mars 2021.

La CNE a également été auditionnée par les parlementaires en charge de l'étude conduite sur l'impact de l'arrêt du projet ASTRID consacré à la conception d'un prototype de réacteur de 4<sup>ème</sup> génération et à l'étude des ateliers du cycle associés.

La Commission a également été invitée à présenter à la COMOR (Commission pluraliste installée par la DGEC pour définir les orientations pour la 5<sup>ème</sup> édition du PNGMDR) le 2 avril 2021 une analyse des principaux acquis et enjeux scientifiques sur les thèmes abordés par cette commission. Cette présentation a fait l'objet d'une note publiée sur le site de la CNE.

Par ailleurs, la Commission a suivi la même méthode de travail que les années précédentes.

Elle a procédé à 12 auditions plénières et 6 auditions restreintes (Cf. Annexe IV), essentiellement organisées sous la forme de visio-conférence en raison du contexte sanitaire.

On trouvera en Annexe V la liste des personnes auditionnées par la CNE représentant les différents opérateurs de la filière nucléaire. Ces auditions rassemblaient en moyenne une soixantaine de personnes, notamment des représentants des principaux acteurs de la loi (CEA et Andra), mais également du CNRS, de l'Autorité de sûreté nucléaire et de son appui technique (IRSN), des industriels principalement concernés (ORANO et EDF) ainsi que de l'administration centrale (DGEC et DGRI).

Le contexte sanitaire enfin a conduit la Commission à limiter ses déplacements et visites techniques.

Une seule visite technique a pu être effectivement réalisée à Froncles (52) à proximité de Bure (Cf. Annexe III), dédiée au démonstrateur du funiculaire étudié dans le cadre du projet Cigéo et faisant l'objet d'une coopération entre la société Poma et l'Andra.

La liste des documents qu'elle a reçus des organismes auditionnés (arrêtée au 15 avril 2021) est donnée en Annexe VI.



## ANNEXE III : PRESENTATIONS ET VISITES DE LA COMMISSION

### *Présentations de la Commission*

08 juillet 2020 :	Présentation du rapport n°14 à l'OPECST
29 octobre 2020 :	Présentation du rapport n°14 au Clis de Bure
25 mars 2021 :	Présentation à l'OPECST de la note d'information au Parlement sur l'impact de la Covid-19 sur les études et recherches portant sur la gestion des matières et déchets radioactifs
02 avril 2021 :	Présentation de la synthèse des analyses de la CNE relatives aux acquis et perspectives scientifiques sur les thèmes couverts par la Commission d'orientations (COMOR) pour l'élaboration du 5 <sup>ème</sup> PNGMDR

### *Visites de la Commission*

29 octobre 2020 :	Visite du Funiculaire sur le site de Poma à Froncles (52)
-------------------	---



## ANNEXE IV : AUDITIONS REALISEES PAR LA COMMISSION

### AUDITIONS PLÉNIÈRES

- 24 septembre 2020 : CEA - Opérations d'assainissement – démantèlement : calendrier global et financement, R&D et innovations technologiques
- 14 octobre 2020 : Andra - Le Dossier de DAC du projet Cigéo : Etat d'avancement
- 15 octobre 2020 : CEA: Point sur les études radiologiques, épidémiologiques et écotoxicologiques dans le domaine du nucléaire
- 25 novembre 2020 : CEA – La recherche fondamentale et la recherche amont en soutien au programme électronucléaire français
- 26 novembre 2020 : Andra: Le développement du projet Cigéo de demain : études et organisation post-dépôt du DAC
- 10 décembre 2020 : Andra: La stratégie filière
- 20 janvier 2021 : CEA: Concept de réacteurs innovants et cycles associés
- 21 janvier 2021 : Andra – Déchets radioactifs et société – la R&D scientifique et technique de demain à l'Andra
- 10 février 2021 : CEA – Nouvelles gestions du Pu et R&D sur la transmutation
- 11 février 2021 : Andra: Le développement progressif du projet Cigéo : Phipil et Gouvernance
- 17 mars 2021 : CEA: Mise en œuvre des recommandations de la revue internationale sur les déchets bitumés
- 18 mars 2021 : Andra : La maîtrise de la qualité des colis de déchets dans Cigéo

### AUDITIONS RESTREINTES

- 23 septembre 2020 – matin : Haut-Commissaire à l'Energie Atomique
- 23 septembre 2020 – matin : Andra
- 23 septembre 2020 – après-midi : Orano
- 23 septembre 2020 – après-midi : EDF
- 20 janvier 2021 – matin : Administrateur Général du CEA
- 17 mars 2021 – après-midi : EDF



## ANNEXE V : LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES PAR LA COMMISSION

### *Andra*

ABADIE Pierre-Marie  
ALAVOINE Olivier  
ARMAND Gilles  
CALSYN Laurent  
CORDIER Bérangère  
CROMBEZ Sébastien  
DAO Linh  
DENIS-VIENOT Matthieu  
DOUHARD Séverine  
FARIN Sébastien  
GETREY Christophe  
HONORE Delphine  
HOORELBECKE Jean-Michel  
LASSABATÈRE Thierry  
LAVILLE Arnaud  
LAUNEAU Frédéric  
LEVERD Pascal  
LEVIEUX Marine  
LIEBARD Florence  
MAITRE Mélanie  
MENENTEAU Jean-Michel  
NORTURE Anne  
PEPIN Guillaume  
PLAS Frédéric  
POIROT Nicolas  
QUENTEL Julie  
RABARDY Myriam  
ROBINET Jean-Charles  
ROUX-NEDELEC Pascale  
SCHUMACHER Stephan  
SEGURA Valérie  
SOULET Stéphane  
TALANDIER Jean  
VOINIS Sylvie  
WENDLING Jacques

### *Andra (invités)*

BARBIER Rémi – Conseil Ethique et Société  
IDIART Andrès – Amphos 21

### *CEA*

AVERTY Xavier  
BERNARD-GRANGER Guillaume  
BOURG Stéphane

CANTREL Éric  
CHABAL Caroline  
CHABERT Christine  
CHAMPENOIS Jean-Baptiste  
CHARTIER David  
CHARTON Frédéric  
CHAUVIN Nathalie  
DUMAS Thomas  
DUVAIL Magali  
FREYSS Michel  
GORGUES Vincent  
GUETON Olivier  
GAUTHE Paul  
GARNIER Jean-Claude  
JACQ François  
JOURDAN Thomas  
JACQMIN Robert  
JOURDA Paul  
MAZAUDIER Fabrice  
PHELIP Mayeul  
PRAT-LEONHARDT Nathalie  
RODRIGUEZ Gilles  
ROMEO Paul-Henri  
RUGGIERI Jean-Michel  
SABATIER Laure  
SALUDEN-MAGNIN Magali  
SALVATORES Andrea  
SARRADE Stéphane  
SERP Jérôme  
SERRE Frédéric  
SOULIE Julie  
STOHR Philippe  
SUDREAU François  
WASSELIN Virginie

### *COFFREND*

ELEZOVIC Amela

### *CNRS/IN2P3*

DAVID Sylvain  
DOLIGEZ Xavier  
LOISEAU Thierry  
MONCOFFRE Nathalie

## *EDF*

CAISSO Maire  
COLLIGNON Claire  
GRANGER Sylvain  
GREGOIRE DAVID Cécile  
GIRAUD Olivier  
GRANET Sylvie  
LAUGIER Frédéric  
PELLENZ Gilles

## *FRAMATOME*

LOUF Pierre-Henri  
RUGAMA Yolanda

## *GIFEN*

ARBOUILLE Cécile  
ROUX David

## *HC*

LANDAIS Patrick

## *INSERM*

FORAY Nicolas

## *INSTN*

NAVON GROSS Audrey

## *IRSN*

GILBIN Rodolphe  
LAURIER Dominique

## *ORANO*

DELCUVELLERIE Jean-Luc  
EVANS Cécile  
HOURCADE Frédéric  
NDIAYE Abibatou  
ROMARY Jean-Michel  
SEMENTZ Gérald  
ZILBER Marine

## ANNEXE VI : LISTE DES DOCUMENTS TRANSMIS A LA COMMISSION EN 2020-2021

### *Andra*

- Inventaire national des matières et déchets radioactifs – Les essentiels 2021, Février 2021.
- Note de synthèse – La demande de déclaration d'utilité publique du projet de centre de stockage Cigéo, Novembre 2000.
- Le développement progressif de Cigéo et le jalonnement des décisions associées, Février 2021.
- Dossier de concertation sur la phase industrielle pilote de Cigéo, Février 2021.
- Synthèse - La phase industrielle pilote de Cigéo, Février 2021.
- Synthèse - La récupérabilité des colis de déchets stockés dans Cigéo, Février 2021.
- Dossier de concertation sur la Gouvernance du centre de stockage Cigéo, Mai 2021.

67

---

### *CEA*

- Monographie, « L'assainissement-démantèlement des installations nucléaires », Collection e-den, 30 mars 2020.
- « Pour un mix énergétique neutre en carbone », Les Défis du CEA N° 241 – Juillet - Août 2020.
- « 75 avancées qui changent nos vies », Les Défis du CEA, N° Hors-série, Décembre 2020.
- « L'impression 3D au cœur des grandes transitions » – Clefs CEA, N° 72, Avril 2021.



## ANNEXE VII : NOTE D'INFORMATION AU PARLEMENT SUR L'ANALYSE DE L'IMPACT DE LA CRISE SANITAIRE SUR LES ETUDES ET RECHERCHES PORTANT SUR LA GESTION DES MATIERES ET DECHETS RADIOACTIFS (BILAN PROVISOIRE, 28 JANVIER 2021)

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Dans son rapport annuel n°14, présenté à l'OPECST le 8 juillet 2020, la CNE avait attiré l'attention du Parlement sur les conséquences probables de la crise sanitaire due à l'épidémie de SARS-Cov-2 à court et moyen terme sur les activités de R&D liées à la gestion des matières et des déchets radioactifs. Saisie par l'OPECST sur ce sujet, la CNE présente dans cette note ses premières conclusions. La Commission suivra l'évolution de la situation et aura donc l'occasion de revenir sur ce sujet dans son rapport annuel.

Chez tous les acteurs de la R&D auditionnés, publics comme privés, la gestion de la crise sanitaire a fait l'objet d'une mise en œuvre rapide lors de la période de confinement du printemps 2020. Dès l'été, le retour d'expérience a été utilement mis à profit afin de minimiser les conséquences de restrictions ultérieures. Ainsi, les activités de R&D sont conduites aujourd'hui à un rythme normal, avec un déploiement important du télétravail quand c'est possible.

Selon les acteurs de la filière, les conséquences sur leurs résultats financiers, sur les coûts à terminaison des projets et sur la valorisation des fonds dédiés, restent limitées. Ils sont aussi unanimes pour considérer les conséquences calendaires de la crise sanitaire comme modérées à la date de préparation de cette note. Les retards dans les projets de R&D sont de l'ordre de quelques mois au plus et apparaissent tout à fait gérables au regard de leur durée globale (de l'ordre de la dizaine d'années). Les chantiers de démantèlement des installations ont été interrompus de quelques semaines à plusieurs mois selon les cas.

La Commission souligne que la crise sanitaire aura rogné un peu plus les marges déjà souvent trop faibles des calendriers des projets prévus dans le cadre de la PPE et qu'elle aura amplifié les glissements souvent dénoncés des calendriers des chantiers de démantèlement.

Les diverses interruptions des chantiers d'A&D ont entraîné un décalage préjudiciable aux interventions des prestataires qu'il sera difficile de compenser. La crise sanitaire a été l'occasion de resserrer les rangs au sein de la filière nucléaire et plusieurs donneurs d'ordres ont pris des dispositions rapides et efficaces pour soutenir leur tissu de sous-traitants, y compris sur leur trésorerie. Cependant, cette crise pourrait être l'occasion pour certains de quitter un secteur structurellement fragile et à la rentabilité incertaine.

Le Plan de relance mis en œuvre par l'Etat, dans son volet nucléaire, consacre 200 M€ au soutien à la R&D. Les axes de recherche sont : le développement de solutions innovantes pour la gestion des déchets radioactifs dont « des alternatives à l'installation Cigéo », les « Usines du futur », la recherche sur le multi-recyclage en REP et le déploiement de plates-formes expérimentales en soutien à l'innovation.

Les projets présentés à la Commission dans le cadre de ce Plan peuvent être classés suivant deux enjeux : rattraper le retard pris dans le déploiement d'opérations de recherche déjà prévues ou donner une nouvelle impulsion pour des projets futurs. Dans le second cas, il s'agit de favoriser une dynamique qu'il faudra poursuivre bien après le Plan de relance.

Les acteurs historiques de la recherche dans le domaine de la gestion des matières et des déchets radioactifs se sont largement mobilisés pour proposer des projets. L'examen de ceux-ci

montre une grande diversité. Malgré une volonté de coordination des acteurs, ils ne convergent pas vers un objectif partagé.

La Commission rappelle que la création d'un site de stockage géologique et la gestion des matières nucléaires sont parmi les problèmes les plus pressants. Elle recommande donc que le déploiement du Plan de relance s'accompagne au plus vite de choix stratégiques en amont. La Commission rappelle enfin qu'il est difficile d'attirer les nouveaux talents nécessaires à la relance de la R&D sans donner un sens sociétal fort aux enjeux de la recherche, adossés à une vision mobilisatrice à long terme du nucléaire.

## CONTEXTE

Dans son rapport annuel n°14, présenté à l'OPECST le 8 juillet 2020, la CNE a attiré l'attention du Parlement sur les conséquences probables de la crise sanitaire due à l'épidémie de SARS-Cov-2 à court et moyen terme, au regard des calendriers d'activité des acteurs de la Loi du 28 juin 2006, des projets qu'ils portent, ainsi que de la mise en œuvre des orientations stratégiques de la planification pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour le volet concernant la gestion des matières et déchets radioactifs.

Par lettre en date du 6 août 2020, l'OPECST a saisi la CNE afin notamment d'analyser les dispositions que les opérateurs de la filière nucléaire entendent prendre pour limiter l'impact de cette crise sur la réalisation des projets consacrés à la gestion des matières et déchets.

Ainsi, des auditions spécifiques ont été organisées par la CNE avec les principaux acteurs concernés entre le 19 octobre 2020 et le 20 janvier 2021. Cette note présente les premières conclusions de la Commission. Après le second confinement que nous avons connu en automne et la mise en place du Plan de relance, cette note analyse les conséquences de la crise sanitaire au 20 janvier 2021. La Commission suivra l'évolution de la situation et aura donc l'occasion de revenir sur ce sujet dans son rapport annuel.

## UNE MISE EN ŒUVRE RAPIDE ET DÉTERMINÉE DE LA GESTION DE CRISE

### *Une mise en œuvre rapide et déterminée de la gestion de crise*

Les dispositions de gestion de crise prévues à l'avance se sont globalement montrées efficaces. Les plans de continuité d'activité (PCA) qui existaient de longue date chez tous les acteurs principaux de la filière nucléaire ont été mis en œuvre sans délai au début du premier confinement de la population. Ces plans distinguent les activités dont la continuité est essentielle pour le maintien de la viabilité des entreprises et l'accomplissement de leurs missions de service public, et celles qui peuvent être mises à l'arrêt sans conséquence majeure dans l'immédiat.

Il était indispensable d'assurer la sûreté des installations ; l'ASN, consultée, n'a enregistré aucun problème particulier pendant la période. De même, les mesures de surveillance de l'environnement autour des sites de stockage des déchets ont été poursuivies normalement.

La production d'électricité et les activités du cycle qui lui sont nécessaires ont été assurées. Les activités de conversion et d'enrichissement d'uranium, de traitement des combustibles usés et de production de combustibles recyclés, de transport des matières nucléaires, ainsi que de services à l'exploitant EDF ont été maintenues par tous les acteurs de la filière. Les activités minières d'Orano se sont pour l'essentiel poursuivies.

En revanche, les activités d'assainissement et démantèlement (A&D) ont été interrompues chez EDF, Orano et au CEA dès le début du confinement en application stricte des PCA existants. Les travaux de reprise et conditionnement des déchets (RCD) associés ont aussi été fortement ralentis. Les centres industriels de l'Aube gérés par l'Andra n'ont accueilli, pendant la première période de confinement, que quelques envois de déchets prioritaires.

Les travaux de R&D de tous les acteurs ont été également ralentis par l'arrêt du fonctionnement des laboratoires de recherche qui a interrompu les expérimentations, même si la partie tertiaire de ces activités se poursuivait grâce au déploiement du télétravail. Tous les laboratoires du CEA ont été arrêtés. Le laboratoire souterrain de l'Andra a cessé ses activités, sauf pour les visites de sécurité ; les expériences en cours ont cependant continué de fonctionner.

Le redémarrage des activités arrêtées a été progressif après la fin du confinement en mai 2020. Les chantiers de démantèlement comme les centres de stockage des déchets sont remontés en puissance à partir de mi-mai, sans difficulté technique majeure.

### *Un retour d'expérience utile a été tiré de la première période de confinement*

Lors de la première période de confinement, les PCA ont été appliqués immédiatement de manière stricte, ce qui a conduit à une perturbation très forte des activités non essentielles. A la suite de cette expérience, les acteurs ont élaboré des PCA gradués. Ces nouveaux plans, appliqués depuis l'automne 2020, ont impliqué un télétravail massif tout en maintenant sur site le personnel indispensable au fonctionnement des installations. De ce fait, aucun laboratoire n'a été arrêté.

Globalement, la totalité des activités des acteurs de la filière fonctionne nominalement depuis le redémarrage de l'été, la perturbation de la deuxième période de confinement se limitant aux réductions de productivité dues aux mesures sanitaires et aux performances des liaisons informatiques nécessaires au télétravail. La très grande majorité de l'activité tertiaire des acteurs s'effectue en télétravail (par exemple 40 % de personnel présent sur les sites du CEA, 20% au siège de l'Andra). Les acteurs ont déployé des efforts pour faciliter le télétravail de manière durable, tant sur le plan matériel (postes mobiles, serveurs sécurisés) que sur le plan humain : au-delà des réunions de travail virtuelles ou de la formation en ligne, les acteurs (et notamment l'Andra) ont mis en place des points de rencontre virtuels, des ateliers ou séminaires afin de maintenir un sentiment d'appartenance à une organisation et donner du sens au travail.

La crise sanitaire a obligé tous les acteurs à surmonter les réticences qui pouvaient exister à propos du télétravail. Dès le début de la crise, des dispositions ont été prises partout pour étendre et adapter les accords existants. Tous les acteurs ont souligné la qualité du dialogue social pour cet aspect de la gestion de la crise.

## **UN IMPACT MODÉRÉ À CE STADE**

Le principal impact de la crise sanitaire a été la perturbation de la maintenance des installations d'Orano à la Hague et des centrales nucléaires, avec la nécessité d'arrêter certaines tranches et le ralentissement des travaux sur d'autres. Cette période aura un effet sur la disponibilité du parc cet hiver selon la DGEC, et sur la gestion du cycle. Toutefois cet aspect, qui sort de la compétence de la Commission, ne sera pas abordé plus avant dans cette note.

Les autres impacts concernent les calendriers et les coûts des activités ralenties, dont les projets de démantèlement ou les activités de R&D.

## *Le décalage des calendriers des projets est modéré au regard de leur durée*

Les projets d'A&D ont tous été arrêtés pendant deux mois et la reprise a été progressive. Les retards sont estimés par EDF et le CEA à 3 à 6 mois selon les chantiers, à l'exception du chantier de démantèlement de la centrale de Chooz qui accuse 18 mois de retard en raison d'un aléa technique (prolifération durant la période de confinement de micro-organismes dans une piscine, empêchant la réalisation des opérations et nécessitant une dépollution). Orano a pris des mesures spécifiques à partir du mois de juillet (affectation de ressources supplémentaires aux chantiers prioritaires, travail en heures supplémentaires et le samedi...) pour rattraper une partie du retard et le ramener à deux mois environ. Ces durées sont peu significatives au regard de la très longue durée des projets. L'autorité de sûreté nucléaire estime du reste que les difficultés et les retards des projets d'A&D sont dus à des difficultés techniques ou à des changements de stratégie, dont l'origine n'est pas la crise sanitaire.

Les projets de RCD à La Hague accusent un retard de 1,5 à 2 mois. Une partie des retards pris sur les livraisons de déchets à l'Andra a pu être résorbée : à fin 2020, il était prévu d'avoir livré 90 % des déchets TFA et environ 70 % des déchets FMA-VC programmés cette année. L'activité du centre de stockage de l'Aube de l'Andra a retrouvé son niveau d'avant la crise.

En ce qui concerne les projets de R&D, la DGEC considère qu'il n'y aura pas d'impact significatif à long terme, lié à la crise sanitaire, sur le calendrier des grandes actions lancées par la PPE. Cette appréciation est confirmée par les acteurs. Les projets URE et MOX 1300 n'ont pris aucun retard. Un léger glissement est observé sur le projet de multi-recyclage en REP (MRREP) en raison de l'arrêt d'installations expérimentales au CEA, mais la partie études, prépondérante, n'accuse pas de retard.

Un certain nombre de projets de R&D conduits par le CEA ou Orano, qui nécessitaient des expérimentations au printemps 2020, accusent des retards de 3 à 6 mois. Du point de vue des acteurs, ceux-ci sont peu significatifs au regard des échéances lointaines concernées. Le retard le plus sensible concerne la séparation et la purification du plutonium issu d'un crayon de MOX utilisé en vue de réaliser des éléments destinés à être irradiés dans le réacteur russe à neutrons rapides BOR60. Ce projet a pris une année de retard, ce qui peut être critique dans la mesure où l'arrêt définitif du réacteur russe est programmé en 2030. EDF espère pouvoir résorber ce retard en accélérant certains travaux d'étude grâce au financement du Plan de relance.

Au laboratoire souterrain de l'Andra, un travail de replanification des activités sur le 2<sup>ème</sup> semestre 2020 a permis d'atteindre l'ensemble des objectifs du programme d'essais technologiques. Le retard des activités du laboratoire souterrain est limité aux 2 mois d'arrêt des creusements qui ne peuvent être rattrapés car exécutés en continu à une cadence imposée par la méthode de creusement.

La crise sanitaire a eu enfin un impact significatif sur le programme scientifique Needs, conduit par le CNRS au profit de la filière nucléaire, dont les activités ont pris 4 à 8 mois de retard selon les projets. De ce fait, les projets de l'année 2020 sont prolongés sur 2021 et le prochain appel à projet est décalé à l'automne 2021.

S'agissant des principaux projets d'installations nouvelles, la mise en service de l'installation ICEDA au Bugey a été retardée de 4 mois, mais est intervenue finalement en juillet 2020 et le projet de Technocentre à Fessenheim accuse un retard de 4 mois pour une mise en service prévue en 2031. Le retard du projet de nouvelle piscine d'entreposage à La Hague est quant à lui indépendant de la crise sanitaire. Enfin, l'impact du confinement sur le projet Cigéo a été très limité. La DUP a été déposée avec peu de retard (août 2020) et le décalage de la présentation du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) par rapport aux hypothèses de début 2020 n'est que marginalement lié à la crise sanitaire.

### *Les conséquences sur les résultats financiers des acteurs, sur les coûts à terminaison des projets et sur la valorisation des fonds dédiés restent également limitées*

La crise sanitaire a eu des conséquences sur le chiffre d'affaires et les résultats de certains acteurs, sur le coût à terminaison de certains projets et sur la valeur du portefeuille d'actifs couvrant les passifs de démantèlement, conformément à la loi.

EDF n'a pas communiqué à la Commission de chiffre relatif à l'impact de la crise sur son résultat. Pour Orano, la perte de chiffre d'affaires est estimée à 100 M€ environ, la marge brute est affectée par des coûts de sous-activité, de chômage partiel et de mise en œuvre des mesures de protection ; la baisse du résultat atteint 150 M€. Le CEA est affecté par la perte de certaines ressources externes, ce qui, selon la DGEC, pourrait peser sur son budget pendant deux ou trois ans. Pour l'Andra, l'impact de la crise sur le résultat financier est très limité (moins de 2 M€).

Les acteurs ont signalé une élévation temporaire du prix de l'uranium suite à l'arrêt de la mine de Cigar Lake et de l'usine de traitement de McClean au Canada pendant 5 mois. Ce phénomène n'est pas inquiétant dans la mesure où la capacité minière mondiale est aujourd'hui excédentaire.

EDF estime l'augmentation du coût à terminaison des projets A&D à moins de 1%. Orano, pour sa part, chiffre l'impact sur les opérations de RCD à 3 M€ environ et celui sur les opérations A&D à 5 M€. Seul le CEA prévoit une augmentation sensible du coût à terminaison de ses projets A&D, de l'ordre de 150 à 180 M€ pour l'ensemble des projets, qui devraient être couverts en grande partie par les provisions « pour risques non identifiés ».

En ce qui concerne la valeur des portefeuilles d'actifs dédiés au financement des démantèlements, les acteurs ont tous observé une baisse sensible au moment du premier confinement, compensée par une reprise rapide, d'ampleur équivalente, au deuxième semestre. Globalement les portefeuilles devraient connaître une légère hausse sur l'année 2020, inférieure cependant à la performance prévue en début d'année. Le taux de couverture du passif par ces actifs dédiés reste très proche de 100 %.

### *La crise sanitaire a retardé les travaux de concertation publique et gêné la communication externe de l'Andra*

Les activités de concertation (de type débat public) ont été totalement stoppées en mars et avril et n'ont repris que progressivement. Aujourd'hui, la dématérialisation des échanges fonctionne bien, mais le retard accumulé est de l'ordre de deux mois.

La première vague de la crise sanitaire a coïncidé avec un flottement dans la composition des instances de concertation locale élues, en raison de l'étalement du calendrier des élections municipales, ce qui a perturbé les actions de concertation locale menées par l'Andra. De plus, tous les événements collectifs organisés habituellement n'ont pu avoir lieu.

La crise sanitaire a eu un impact très fort sur les visites du laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne qui n'auront concerné en 2020 que 4 000 personnes au lieu de 12 000 pour une année normale. L'agence a mis en place une visite virtuelle du laboratoire souterrain pour pallier l'impossibilité des visites.

*La Commission observe donc que les acteurs de la filière sont unanimes pour considérer les conséquences tant calendaires que financières de la crise sanitaire comme modérées à ce stade et les estimer tout à fait gérables sans impact significatif à moyen terme. Pour autant, ces conséquences auront rogné un peu plus les marges déjà souvent très ou trop faibles des calendriers des projets déployés dans le cadre de la PPE, comme noté dans le rapport n°14 de la CNE.*

*La Commission s'associe à la préoccupation exprimée très nettement par l'ASN concernant la faiblesse des marges calendaires de ces projets de R&D.*

## UNE FILIÈRE AFFECTÉE MAIS SOLIDAIRE

*Le secteur industriel du nucléaire, notamment celui des activités de démantèlement, présente des fragilités mises en lumière par la crise sanitaire*

La crise sanitaire a révélé la fragilité du tissu industriel sur lequel s'appuie la filière nucléaire. Selon les acteurs auditionnés, les entreprises du BTP ont eu quelques difficultés pour définir et appliquer des protocoles sanitaires viables pour leurs activités. Certaines sociétés d'ingénierie, ayant une activité minoritaire dans le nucléaire, sont en outre affectées par la crise profonde que traverse aujourd'hui le domaine aéronautique.

Par ailleurs, sans lien direct avec la crise sanitaire, certains acteurs sont tentés de se désengager des activités d'A&D, jugées d'une part trop peu rentables et d'autre part trop incertaines sur le plan des calendriers pour justifier des investissements. Par exemple, les entreprises Derichebourg et, cette année Daher, viennent de quitter le secteur ; l'entreprise Nuvia (groupe Vinci) réduit progressivement son implication.

74

*Les donneurs d'ordre ont globalement fait preuve de solidarité avec leurs fournisseurs*

EDF s'est organisée dès la fin mars 2020 afin de détecter les éventuelles entreprises en difficulté (et leurs sous-traitants éventuels) et de travailler avec elles sur les conditions sanitaires d'intervention. Des dispositions ont été prises pour limiter la dégradation de la trésorerie des fournisseurs (notamment les PME) : accélération des paiements, règlements partiels, traitement des réclamations... A ce jour, EDF n'a pas connaissance de disparition d'un titulaire ou sous-traitant.

EDF comme Orano se sont attachés à donner le plus de visibilité possible à leurs fournisseurs sur les conditions de reprise des activités et sur les plans de charge à venir. Le CEA a également mis en place une cellule de crise avec les fournisseurs en vue de les aider en particulier pour la mise en place des mesures sanitaires.

La Commission a pris des contacts auprès d'entreprises sous-traitantes, du pôle de compétitivité Nuclear Valley et du GIFEN. Il apparaît que les PME & ETI ont, pour l'instant, plutôt bien résisté à la crise.

La solidarité des donneurs d'ordres vis-à-vis des PME est globalement confirmée, malgré quelques critiques à l'encontre du CEA (communication insuffisante tant sur les arrêts d'installations que sur les conditions de reprise de l'activité, lenteur excessive dans la prise en compte contractuelle des effets de la crise...). Les facilités contractuelles consenties par EDF et Framatome ont été en particulier utiles.

Une réflexion a été engagée au sein du GIFEN sur des formes contractuelles permettant un partage des risques plus équilibré entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre dans le domaine de l'A&D, en utilisant toutes les possibilités offertes par le code de la commande publique. Le GIFEN a organisé une journée « perspectives France » pour donner aux PME de la visibilité sur

les projets portés par la filière à un horizon de 5 à 7 ans et il a contribué également à l'harmonisation de l'application des mesures sanitaires.

### *La crise sanitaire a mis en évidence une certaine dépendance du secteur vis-à-vis de fournisseurs, et d'intervenants, étrangers*

EDF a rencontré pendant la crise sanitaire des difficultés relatives à l'entrée sur le territoire de personnels de prestataires étrangers (travailleurs allemands nécessaires au démarrage d'ICEDA, travailleurs américains sur le chantier de démantèlement de Brennilis, par exemple). EDF dispose d'une cellule spécifique pour gérer ces questions en collaboration avec les services de l'Etat et il n'y a pas eu de blocage. Face à ce risque, EDF s'interroge sur le rapatriement de prestations dans le groupe en France. Par exemple, il est envisagé d'internaliser dans l'entreprise la découpe des internes de cuve lors des démantèlements, réalisée aujourd'hui par Westinghouse à Brennilis.

## **PLAN DE RELANCE : QUELS ENJEUX ?**

S'agissant de son volet « nucléaire », le Plan de relance mis en œuvre par l'Etat s'élève à 470 M€ décomposé comme suit :

- Création d'un fonds d'investissements doté de 100 M€ par l'Etat (et abondé de 100 M€ par EDF) ;
- Soutien à la modernisation industrielle et renforcement des compétences critiques dans la filière nucléaire : 100 M€
- Soutien à la R&D dans la filière nucléaire : 200 M€ (dont 100 M€ au titre du PIA4). Les axes de R&D sont : le développement de solutions innovantes pour la gestion des déchets radioactifs dont des alternatives à l'installation Cigéo ; les innovations visant à développer les solutions « Usines du futur » ; la recherche sur le MRREP ; le déploiement de plates-formes expérimentales en soutien à l'innovation ;
- Projets particuliers : SMR-Nuward (50 M€) et Technocentre (20 M€).

75

Tous les volets de ce plan n'entrent pas dans le périmètre de la CNE. L'analyse portera sur les projets de réponse des acteurs aux mesures de soutien à la R&D.

La Commission a alerté à plusieurs reprises sur les conséquences de l'abandon du programme de recherche Astrid : report à des horizons très lointains de la fermeture du cycle, perte de compétitivité de filière vis-à-vis de concurrents étrangers, perte de compétences scientifiques et techniques.

*La Commission constate que le développement d'un parc de réacteurs à neutrons rapides est ignoré dans les projets de recherche qui lui ont été présentés. Il mériterait d'être impulsé par le Plan de relance.*

La crise sanitaire montre la fragilité de pans entiers de l'économie et la nécessité de garantir la souveraineté et la diversité des approvisionnements en particulier énergétiques. La Commission souligne que les matières disponibles sur le territoire national, le plutonium, l'uranium appauvri et l'uranium de retraitement, constituent une ressource énergétique directement accessible et bas carbone. Leur utilisation et leur recyclage seraient un élément de l'indépendance énergétique de la France, pour plusieurs siècles si le pays dispose d'un parc de RNR.

*Dans son rapport annuel n° 13, la Commission considérait « qu'un nouveau programme de R&D, soutenu par une recherche fondamentale forte, en association étroite avec la formation des futurs chercheurs, était à bâtir pour relever les nombreux défis liés à la nouvelle stratégie électronucléaire. ». La Commission ne peut que renouveler cette recommandation tout en constatant que le Plan de relance n'y répond pas.*

### *Une mobilisation des acteurs de la R&D*

En réponse aux demandes de l'Etat et aux objectifs de la PPE, le CEA, Orano, EDF et Framatome ont proposé de s'engager dans un projet de pré-faisabilité dédié au MRREP. EDF poursuit aussi les études relatives au moxage des REP 1300 avec Orano dans le cadre d'un projet partenarial avec des universitaires et des industriels. Deux projets d'investissement (CEA) portent sur des plates-formes expérimentales de soutien à l'innovation sur des thématiques en lien avec la sûreté nucléaire, d'une part sur les accidents graves (Plinius 2) et d'autre part sur les séismes (Tamaris).

*S'agissant de l'axe relatif au MRREP, la proposition d'un projet de « pré-faisabilité » est assez curieuse pour un objectif inscrit dans la PPE depuis un an, avec une échéance de mise en œuvre en 2035. La Commission avait noté dans son rapport 14 que le calendrier était très serré et pensait que ce sujet, inscrit dans une stratégie nationale à court terme au regard de la temporalité habituelle des projets nucléaires, avait dépassé le stade de la pré-faisabilité.*

76

L'Andra propose de coordonner l'axe « Solutions innovantes pour la gestion des déchets et les alternatives à l'installation Cigéo » du plan de relance avec trois volets : le premier est dédié aux mesures, à la caractérisation, au conditionnement et au recyclage des déchets ; le second porte sur la valorisation des matières (en particulier celles controversées au sens du PNGMDR comme l'uranium appauvri ou l'uranium de retraitement) ; le troisième aborde les « alternatives à l'installation Cigéo ». La Commission s'inquiète de cette expression trompeuse. Elle laisse penser qu'une autre solution pourrait être trouvée pour les déchets actuels en substitution du stockage géologique profond, alors que cela ne pourrait au mieux concerner que des déchets futurs.

*La Commission souligne qu'il y aura toujours des déchets ultimes à stocker même si les pistes esquissées permettant de réutiliser certaines matières ou de diminuer la nocivité de certains déchets se concrétisent dans un avenir lointain. En particulier, la mise en œuvre de la transmutation à l'échelle industrielle, même si on savait la réaliser, laisserait des déchets ultimes qu'il faudrait isoler et stocker en profondeur.*

Chaque acteur apporte des projets spécifiques. Ainsi, et sans être exhaustif, le premier volet rassemble des projets portant sur l'imagerie pour la caractérisation des déchets (CEA), les procédés de décontamination ou de vitrification des déchets FAVL (Orano, EDF), les mesures de corrosion (CEA, Orano), le développement de matrices cimentaires innovantes (EDF, Orano), ou encore le comportement à long terme de colis vitrifiés. Le second volet est moins fourni avec des projets sur la valorisation des matières issues des tubes guides de grappe (EDF), ou la poursuite de la R&D sur le retraitement des MOX usés (CEA, EDF et Orano, CNRS). Enfin, le troisième volet comporte un projet de futur réacteur à sels fondus brûleur d'actinides proposé par le CEA en collaboration avec le CNRS, Orano et EDF.

L'examen des propositions montre une grande dispersion, par exemple au sein du premier axe qui a été le plus détaillé devant la Commission.

*La Commission s'interroge sur la véritable stratégie poursuivie par chacun dans le cadre du Plan de relance. Malgré une volonté de coordination, ces projets ne convergent pas vers un objectif partagé, inscrit dans une initiative nationale globale et cohérente sur la R&D dans le domaine nucléaire.*

La réponse des acteurs principaux de la R&D est importante et le montant total des projets proposés dépasse l'enveloppe prévue par le Plan de relance. Le contenu des projets proposés n'est pas encore finalisé et la liste de ceux retenus *in fine* n'est pas connue. Cependant, la maturité scientifique et technologique des propositions (par exemple évaluée par l'échelle TRL – Technical Readiness Level) et la contribution en ressources propres des acteurs devraient permettre de mieux en évaluer la pertinence. En effet, si certains projets ont une durée compatible avec celle du Plan de relance (par exemple ceux dont le niveau TRL est déjà élevé), d'autres engagent les acteurs bien au-delà de deux ans et nécessiteraient un budget supérieur d'un ou plusieurs ordres de grandeur par rapport aux moyens du Plan de relance (par exemple le projet sur le brûleur d'actinides). Ce n'est pas à l'issue d'une période aussi courte qu'il sera possible d'apporter des résultats significatifs et pour que le Plan de relance constitue un réel investissement, il faudra donc que les acteurs de la recherche poursuivent leurs efforts en comptant sur leurs ressources propres.

### *Le déploiement des projets : des enjeux forts pour combiner efficacité et une nouvelle impulsion dans la recherche*

77

---

A la date du 9 décembre, jour de l'audition des acteurs concernés, les modalités de mise en œuvre du Plan de relance n'avaient pas été complètement arrêtées, mais un démarrage effectif au tout début de l'année 2021 était espéré. Deux dispositifs sont proposés en parallèle : le premier consiste à confier la coordination d'un projet à l'un des acteurs, ou à un consortium d'acteurs, charge à celui-ci de s'entourer des compétences nécessaires pour le mener. Le second consiste à procéder par appel à projet et donc à recevoir, puis à sélectionner des propositions. Ce dispositif, moins directif, serait utilisé par l'Andra pour l'axe de soutien à la R&D qu'elle coordonne. Il a le mérite de permettre potentiellement une plus grande diversité de propositions innovantes en mobilisant des chercheurs qui ne le sont pas actuellement. Par contre, sa mise en œuvre implique un certain nombre de délais alors que le Plan de relance vise à financer des projets sur deux ans (2021-2022) et que la consommation des crédits doit être rapide.

*La Commission redoute que la mise en place d'appels à projet ralentisse trop le démarrage des projets dont la durée effective, compte tenu des délais de mise en œuvre, se trouverait réduite à un peu plus d'une année.*

Il est vrai que la publication d'un appel à projet est également plus mobilisatrice vis-à-vis de la communauté scientifique potentiellement intéressée à contribuer à la recherche sur la gestion des matières et des déchets radioactifs. Encore faut-il que les scientifiques, au-delà des acteurs déjà impliqués aujourd'hui, répondent afin de donner une impulsion susceptible de « relancer » encore plus fortement la recherche dans ce domaine. Les données présentées par le CNRS sont alarmantes à cet égard. Sur les cinq dernières années, le CNRS constate une baisse de 30% environ du nombre des chercheurs impliqués sur ces sujets. Cette donnée, issue de l'enquête

annuelle que l'organisme conduit sur les recherches dans le domaine de l'énergie, inclut aussi les enseignants-chercheurs membres des unités mixtes de recherche, et donc la grande majorité des forces universitaires.

Par ailleurs, force est de constater que si le paysage universitaire a été fortement transformé en dix ans dans le cadre des PIA successifs, avec par exemple l'émergence des centres d'excellence, cette nouvelle structuration reste assez étrangère aux acteurs traditionnels de la recherche sur les matières et déchets radioactifs. Parmi les projets évoqués devant la Commission, seuls deux s'appuient sur les initiatives de site destinées à faire émerger des universités d'excellence. Ce constat suscite à nouveau une forte interrogation sur la mobilisation des chercheurs les plus brillants sur ces thèmes de recherche, alors même que les organismes nationaux concernés sont parfois parties-prenantes de la gouvernance de plusieurs initiatives de site.

*Le maintien des compétences dans un domaine de recherche passe par l'attractivité de celui-ci pour les jeunes chercheurs et la mobilisation des éléments les plus brillants. Il est difficile d'attirer de nouveaux talents vers la R&D sur les matières et déchets radioactifs sans donner un sens sociétal fort à un appel à projet. La Commission a souligné cette difficulté dans ses rapports annuels depuis plus de deux ans en demandant la mise en place très rapide d'un programme national de recherche ambitieux, adossé à une vision mobilisatrice à long terme du nucléaire.*

Quelle que soit la modalité retenue pour déployer les projets du Plan de relance, la Commission constate que la mobilisation d'un surcroît de forces de recherche, attiré par des enjeux sociétaux forts que constitue l'énergie au sens large, n'est pas au centre des projets qui lui ont été présentés.

### *Comment comprendre le plan de relance ?*

Les projets qui seront soutenus par le plan de relance peuvent être rangés autour de deux enjeux :

**Rattraper le retard pris dans le déploiement d'opérations de recherche déjà prévues :** à quelques exceptions près (travaux expérimentaux), ce retard n'est pas dû à la crise sanitaire. Il faut plutôt l'imputer au changement de stratégie impulsé par la PPE qui conduit à reporter les efforts de recherche vers des sujets différents dans le cadre du 5<sup>ème</sup> PNGMDR. Le cas du multi-recyclage en REP est emblématique à cet égard. Ainsi, le Plan de relance constitue une opportunité pour aller plus vite. Les acteurs soulignent toutefois que cette volonté doit être accompagnée par une augmentation de ressources humaines dédiées qu'il n'est pas possible de satisfaire sous la contrainte actuelle d'un plafond d'emplois.

*La Commission considère que pour être fidèle à l'esprit d'un Plan de relance, la contrainte du plafond d'emplois dédiés à ces projets pourrait être levée temporairement, par exemple dans le cadre de contrats doctoraux ou de stages post-doctoraux. Les mesures de soutien à l'emploi privé en R&D récemment publiées par le Gouvernement constituent un autre levier pour les organismes publics.*

**Donner une nouvelle impulsion pour des projets futurs** : il s'agit de favoriser une dynamique permettant, soit de finaliser une recherche proche de son aboutissement à l'échelle industrielle, soit de s'engager dans de nouvelles voies, avec l'objectif de poursuivre des projets bien après le Plan de relance, car la temporalité des projets de recherche dans le nucléaire est de l'ordre de quelques dizaines d'années au moins. Les difficultés ne doivent pas être éludées : choix des projets constituant les plus fortes opportunités et renouveau de la mobilisation de la communauté scientifique.

Parmi ces opportunités, la consolidation de la notion de matières valorisables est un élément important. Il s'agit pour chaque détenteur de matières nucléaires, dont la valorisation industrielle en quantité significative à un horizon de trente ans pourrait être remise en question, d'apporter des justifications convaincantes. C'est le cas par exemple de l'uranium appauvri qui fait l'objet d'un des axes du plan de relance. La Commission accueille favorablement cette initiative qui permet de clarifier la notion de matière et d'apporter le soutien nécessaire pour des études associées.

Comme elle l'a mentionné dans ses précédents rapports, la Commission rappelle que la nécessité de nouveaux entreposages, la création d'un site de stockage géologique, le déploiement d'une filière de gestion des FAVL et la gestion des matières nucléaires sont parmi les problèmes les plus pressants. Dans ce contexte, l'ASN a souligné l'importance des choix que la société devra faire d'ici 5 ans.

*La Commission recommande que le déploiement du plan de relance, pour son volet R&D appliqué à la gestion des matières et des déchets radioactifs, s'accompagne au plus vite de choix stratégiques en amont, donnant un sens à la communauté scientifique qu'il conviendra de mobiliser fortement pour faire face aux priorités et urgences tout en se projetant sur un temps long.*

## LISTE DES AUDITIONS ET ENTRETIENS CONDUITS PAR LA COMMISSION DANS LE CADRE DE LA MISSION D'ANALYSE DE L'IMPACT DE LA CRISE SUR LES ACTEURS DE LA LOI:

- Audition du 9 décembre 2020 :
  - 9h-10h : audition de Philippe Stohr, Directeur des énergies, CEA
  - 10h15-11h15 : audition de Pierre-Marie Abadie, Directeur général de l'Andra
  - 11h30-12h15 : audition de Sylvain David, CNRS
  - 14h-15 h : audition de Sylvain Granger, EDF
  
  - 15h-15h45 : audition du GIFEN
    - o Présentation du GIFEN par Cécile Arbouille, Déléguée Générale du GIFEN
    - o Commission Numérique : Jean-Luc Delcuvellerie (ORANO) et David Roux (GIFEN)
    - o Commission Compétences & Formation : Amela Elezovic (COFREND) et Audrey Navon Gross (INSTN)
    - o Commission Innovation et R&D : Stéphane Sarrade (CEA)
  
- 16h-17h: audition de Jean-Michel Romary, Directeur Maîtrise d'Ouvrage Démantèlement et Déchets, Orano
  
- Audition du 20 janvier 2021 :  
François Jacq, Administrateur général du CEA
  
- Entretien du 19 octobre 2020 :  
Sophie Murlon, Directrice de l'énergie, Direction générale de l'énergie et du climat (DGEIC), ministère de la transition écologique
  
- Entretien du 27 novembre 2020 :  
Bernard Doroszczuk, Président de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN)
  
- Entretiens organisés avec des entreprises ou pôle de compétitivité sur le thème « relations contractuelles entre GDO et prestataires du domaine de l'A&D lors du premier confinement » :
  - ONET TECHNOLOGIES ND
  - NUZIA PROCESS
  - Pôle de compétitivité NUCLEAR VALLEY

## ANNEXE VIII : LES OPERATIONS D'ASSAINISSEMENT ET DEMANTELEMENT AU CEA ET CHEZ EDF ET LA GESTION DES DECHETS TFA

### *Les opérations d'assainissement et démantèlement au CEA*

La loi dispose que les opérateurs nucléaires doivent mettre en place des provisions, couvertes par des actifs dédiés, pour faire face aux charges d'assainissement et démantèlement (A&D) des installations mises à l'arrêt, comme à la gestion des déchets nucléaires. Cette disposition, toutefois, ne s'applique pas au CEA, pour qui l'équivalent de cette provision est une créance sur l'Etat. De ce fait, les moyens financiers nécessaires aux opérations d'A&D sont inscrits dans le budget annuel du CEA. Elles sont actuellement financées par une ligne budgétaire d'un montant constant de 740 M€ courants par an, incluant la contribution du CEA au projet Cigéo. La répartition approximative de ce montant est la suivante : 300 M€ de coûts fixes, 370 M€ de dépenses sur les projets et 70 M€ pour la gestion des déchets. Le plan à moyen et long terme du CEA sur 2020-2030 maintient ce montant de 740 M€ annuels jusqu'en 2022 inclus, mais prévoit à partir de 2023 des ressources à hauteur de 765 M€ constants par an. Par ailleurs, ce montant n'inclut plus à compter de 2023 les dépenses liées à Cigéo.

Dans ce contexte budgétaire contraint, la mise à l'arrêt simultanée d'un nombre important d'installations a conduit le CEA à définir une stratégie de priorisation des activités qui consiste à transférer en sûreté le plus rapidement possible le plus de radioactivité possible (priorité à la réduction du terme source mobilisable). Cette stratégie, qui a été validée par les autorités de sûreté, conduit à réaliser l'A&D en deux temps (sauf installations prioritaires pour d'autres raisons) : tout d'abord les opérations de reprise et conditionnement des déchets les plus fortement contaminés (y compris la réalisation des emballages de transports ou installations d'entreposage éventuellement nécessaires) et plus tard les opérations de démantèlement des infrastructures moins contaminées.

Le calendrier des opérations d'A&D est également contraint par la disponibilité des moyens humains. Le retour d'expérience du CEA montre que l'insuffisance de ressource humaine est la principale cause de report ou d'annulation des appels d'offres. Il est prévu une légère augmentation des moyens humains d'ici 2025 (+ 60 ETP en cumul), ce qui devrait permettre au CEA de réinternaliser certaines actions de maîtrise d'œuvre pour gagner en efficacité.

Au plan industriel, le CEA exprime une inquiétude devant les signaux qu'il reçoit sur la mauvaise santé des entreprises du secteur, qui sont pour la plupart, des filiales de grands groupes. Il craint que certaines ingénieries ou entreprises de réalisation se désengagent de cette activité, qui pour beaucoup présente des marges insuffisantes en raison des trop nombreux aléas de chantier. Une réflexion est engagée au sein du GIFEN sur des formes contractuelles permettant un partage des risques plus équitable entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre, en utilisant toutes les possibilités offertes par le code de la commande publique.

Les opérations d'A&D au CEA sont soutenues par des activités de recherche comme l'étude de matrices cimentaires permettant de diminuer la production d'hydrogène par radiolyse alpha de l'eau porale, ou des développements dans les domaines des mesures, de la robotique de la découpe et de la réalité virtuelle.

## *Le démantèlement des installations anciennes d'EDF*

Les activités de démantèlement ont débuté chez EDF il y a 15 ans. Les étapes du démantèlement sont les suivantes : d'abord le déchargement du combustible et la vidange du réacteur, conduites en parallèle de l'instruction du dossier de démantèlement (5 ans environ), puis, après la parution du décret de démantèlement, le démantèlement des bâtiments et installations hors bâtiment nucléaire, enfin le démantèlement du bâtiment nucléaire. La durée totale atteint 15 ans pour un réacteur isolé, mais des parallélisations sont possibles en cas de démantèlement de plusieurs réacteurs sur le même site (15 ans sont prévus pour le démantèlement de l'ensemble de la centrale de Fessenheim). A l'inverse de ce qui est pratiqué au CEA, les opérations de démantèlement sont conduites par EDF aussi rapidement que techniquement possible afin de réduire les coûts fixes, ce qui est facilité par l'existence de fonds dédiés pour le financement.

Aujourd'hui, 11 réacteurs sont en cours de déconstruction, de quatre technologies différentes :

- le démantèlement du réacteur à eau pressurisée (REP) Chooz A est en voie d'achèvement ; il fournit un retour d'expérience important pour les démantèlements futurs de REP. Le démantèlement des réacteurs de Fessenheim (décret de démantèlement attendu en 2025) sera la tête de série des REP suivants (14 réacteurs à arrêter d'ici 2035 selon la PPE) ;
- les réacteurs au graphite posent des problèmes spécifiques dus à la taille très importante du bloc réacteur qui impose le développement d'une plateforme spécifique, en l'absence de REX international. Le démantèlement de la tête de série (Chinon A2) est prévu à partir de 2030. Il faut traiter la question de l'exutoire du graphite qui est un déchet FAVL ;
- le démantèlement de la centrale à eau lourde de Brennilis n'a pu être achevé car le dossier initial ne couvrait pas le démantèlement du caisson réacteur. De plus, jusqu'à la mise en service récente d'ICEDA, les déchets MAVL produits par ce démantèlement n'avaient pas d'exutoire ;
- les enjeux principaux du démantèlement de Superphénix à Creys-Malville sont la taille du réacteur (20 fois plus grand que celui d'un REP de 1300 MW), le risque sodium et la gestion des déchets sodés.

L'inventaire radioactif est très faible après la mise à l'arrêt définitif d'un réacteur (moins de 1% de l'inventaire initial) car les combustibles usés sont évacués vers La Hague. Les déchets produits sont pour un peu plus de 90 % des déchets conventionnels. Les déchets nucléaires à vie longue représentent moins de 0.1% (à l'exception des graphites FAVL).

EDF a fait évoluer sa stratégie industrielle sur les opérations de démantèlement. Faute d'obtenir des résultats techniquement et économiquement satisfaisants en confiant l'ensemble de la maîtrise d'œuvre à des partenaires, EDF s'implique aujourd'hui davantage dans la maîtrise d'œuvre des opérations critiques, en s'appuyant sur ses filiales (Cyclife, Graphitec...). Les capacités industrielles d'EDF consacrées à ces activités ont connu une montée en puissance significative (doublement en 4 à 5 ans) et cette tendance devrait se poursuivre, d'autant qu'EDF envisage de proposer son expérience à l'export. EDF ne rencontre pas de difficulté quantitative concernant les capacités industrielles en sous-traitance, mais un problème de compétences, notamment dans le temps long, d'où la recherche de partenariats de longue durée.

La R&D liée à ces opérations est notamment motivée par l'optimisation des durées des opérations, d'où l'utilisation croissante de jumeaux numériques et de robotique. Par ailleurs, EDF a mis en place des partenariats avec des startup sur des objets connectés.

S'agissant de l'assainissement des sols après démantèlement, le guide ASN N° 24 impose l'étude systématique de l'assainissement complet ; un assainissement dit « poussé », associé à un usage du lieu proposé par l'exploitant, n'est admis que si on démontre que l'assainissement complet conduit à un coût prohibitif. EDF considère que l'objectif d'assainissement influe très peu

sur les impacts sanitaires et environnementaux mais très fortement sur le volume des déchets produits, d'où la nécessité de rechercher un compromis. Par ailleurs, il y aurait un fort intérêt à pousser les recherches sur des alternatives à l'excavation des sols ... et à mieux définir l'état initial.

### *La gestion des déchets TFA*

La production d'un schéma directeur des déchets TFA, qui était prévue en 2020, est désormais repoussée en 2024.

En tout état de cause, le volume de déchets TFA estimé à terminaison du parc actuel est compris entre 2.1 et 2.3 millions de m<sup>3</sup>. Or la capacité du CIREs, même après réalisation du projet d'extension AGACI, n'atteindra que 900 000 m<sup>3</sup> environ et le centre sera saturé vers 2038. Le dépôt du dossier de création d'un nouveau site TFA interviendrait selon l'Andra vers 2028.

Le PNGMDR a par ailleurs demandé l'étude de faisabilité d'installations de stockage décentralisées, complétée par une analyse comparée de leur impact sur l'environnement par rapport à un envoi au CIREs. EDF conduit cette étude sur l'exemple du stockage des blocs de béton sodés issus du traitement du sodium de Superphénix (65 000 tonnes soit 38 000 m<sup>3</sup> actuellement entreposés à Creys-Malville dans un bâtiment dont l'autorisation d'exploitation expire en 2035). Le stockage de déchets très peu contaminés dans des installations de stockage de déchets conventionnels dangereux est également étudié.

En parallèle des études d'extension des capacités de stockage de déchets TFA, des réflexions sur la réduction des volumes à stocker sont conduites. En particulier, le projet d'installation de valorisation par fusion des métaux, qui pourrait être implantée à Fessenheim, a été présenté à la Commission. La quantité de métal concernée en France est de l'ordre de 500 000 tonnes, qui pourraient être traitées à la cadence de 25 000 tonnes par an, ce qui réduirait de 200 000 m<sup>3</sup> environ le besoin en stockage TFA. L'installation pourrait entrer en service vers 2030, sous réserve de l'aboutissement des évolutions réglementaires nécessaires.

### *Conclusion*

La Commission observe que la stratégie de programmation des opérations de démantèlement retenue par le CEA, incontestablement favorable à la sûreté, a pour effet d'allonger la durée des démantèlements complets et donc d'augmenter leur coût à terminaison. Il est de ce fait indispensable que le CEA prépare correctement les étapes de démantèlement qui ont été repoussées, en termes de préservation de la connaissance ainsi que de caractérisation et d'investigations, ce afin de diminuer les aléas lors de la reprise des travaux dans quelques décennies. Par ailleurs, il est très souhaitable que les prévisions de ressources financières et humaines figurant dans le PMLT soient confirmées par les budgets réels successifs.

La Commission regrette le report de la parution du schéma directeur des déchets TFA ; elle rappelle que, dans son rapport 14, elle a appelé une mise à jour rapide du calendrier de production des déchets TFA prenant en compte les démantèlements de centrales prévus par la PPE.

La Commission recommande que le projet d'extension de la capacité du CIREs soit engagé avec des marges calendaires suffisantes pour éviter tout ralentissement des opérations de démantèlement faute d'exutoire.



## ANNEXE IX : ELEMENTS PRESENTES A LA COMMISSION SUR LES TRAVAUX CONSACRES A L'EFFET DES FAIBLES DOSES ET A L'ECOTOXICOLOGIE

### LES ENJEUX POUR LA SANTÉ : LES FAIBLES DOSES

Les conséquences d'une exposition à des doses de rayonnements élevées, supérieures à quelques grays, sont aujourd'hui bien connues. La relation dose-effet (brûlure de la peau, dépression de la moelle osseuse...) permet de prévoir la nature et la chronologie de ces conséquences. Le risque d'induction de cancers pour des doses de l'ordre de 0,2 à 0,5 grays est lui aussi bien documenté. Cependant, l'influence du débit de dose reste un paramètre discuté lors de l'interprétation de certaines données. Pour ce niveau de dose, des risques non-cancéreux, par exemple cardiovasculaires, sont également reconnus depuis plus d'une décennie.

Pour les doses inférieures à 0,2 grays, domaine dit des faibles doses, les connaissances restent incomplètes et sujettes à controverses. L'extrapolation à l'être humain des études radiobiologiques peut être contestable car les expériences sont réalisées sur des systèmes biologiques simples. Quant aux études épidémiologiques, elles constituent la première source de données. L'observation des conséquences d'irradiations faibles, expérimentales ou induites par des activités humaines, et de celles de l'irradiation de populations vivant dans des environnements à forte radioactivité naturelle comme l'Inde, l'Iran, mais aussi le massif armoricain ou les Vosges continue à nourrir le débat sur les faibles doses.

85

---

Le CEA a présenté à la Commission sa contribution aux travaux conduits par de nombreux organismes en France et dans le Monde pour améliorer la connaissance des effets d'une exposition à des faibles doses d'irradiation gamma sur le devenir et la fonction des cellules souches somatiques et des cellules germinales souches ou à différents stades de leur maturation en gamètes : Pour mémoire, les principaux effets sont les suivants :

Cellules souches hématopoïétiques (CSH) : On observe une hyper-radiosensibilité des CSH aux faibles doses d'irradiation. Chez l'homme comme chez la souris une irradiation de 20 mGy n'altère pas la différenciation des CSH de moelle osseuse mais elle affecte leur capacité d'auto-renouvellement. Si une irradiation de 100 mGy est réalisée sur le cerveau en développement de souris gestantes on constate des altérations sévères du comportement chez l'adulte ; une exposition répétée (25 mGy jusqu'à 250 mGy) entraîne une microcéphalie. Ces résultats sont normalement pris en compte dans la protection des femmes enceintes et des enfants soumis à une imagerie cérébrale. Des progrès restent à faire pour l'identification de biomarqueurs de sensibilité individuelle.

Cellules germinales : L'exposition chronique (20 mGy pendant une trentaine de jours) de souris femelles conduit à une stérilité et les travaux se poursuivent pour comprendre le mécanisme en jeu. Chez la souris mâle, l'irradiation à 50 mGy, ou 5 fois 10 mGy conduit à des dommages persistants sur l'ADN des cellules germinales dont les conséquences précises restent à évaluer.

## *Radiosensibilité, radio-susceptibilité et radio-dégénérescence individuelle*

L'INSERM a rappelé qu'une exposition aux radiations peut induire trois conséquences cliniques majeures selon la dose absorbée, le tissu et l'individu irradiés :

- des réactions de radiosensibilité : l'absence de réparation de cassures double-brin de l'ADN (CDB) entraînant la mort cellulaire (ex : les radiodermites) ;
- des réactions de radiosusceptibilité (plus communément appelées cancers radioinduits) : mauvaise réparation des CDB avec transformation cellulaire (ex : les radiosarcomes) ;
- des réactions de radio dégrénerescence ou vieillissement accéléré, dues à l'accumulation de cassures simple-brin et/ou CDB non-réparées (ex : les cataractes radioinduites).

On ne sait pas dire aujourd'hui si la sensibilité est due à une partie spécifique de l'ADN. La réponse cellulaire aux radiations ionisantes (> 1 mSv) est une production de la protéine cytoplasmique ATM. Celle-ci en pénétrant le noyau permet la reconnaissance et la réparation des cassures double brin de l'ADN. La radiosensibilité est variable selon les individus et si 85% de la population présente une radiorésistance aux faibles doses grâce à un transit rapide de l'ATM, 20% présente une radiosensibilité modérée et 1% une hyper-radiosensibilité. Les travaux doivent se poursuivre pour consolider le mécanisme ATM (RIANS modèle) et rechercher des contre-mesures pour chaque type de risque.

## *Etudes épidémiologiques - faibles doses*

86

L'IRSN contribue aux travaux de l'UNSCEAR conduits notamment à partir de l'étude épidémiologique des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki, sur l'évaluation du risque d'effets stochastiques pour améliorer la radioprotection. Des études plus récentes fournissent des résultats sur des situations d'exposition diverses : cohortes de travailleurs de l'industrie nucléaire (études INWORKs), expositions médicales thérapeutiques ou diagnostiques, exposition du public à la radioactivité naturelle, résidents de territoires contaminés suite aux accidents de Tchernobyl et de Fukushima... Néanmoins, des incertitudes importantes persistent, en particulier pour ce qui est de l'estimation des risques radio-induits dans le domaine des faibles doses. L'IRSN estime qu'il n'existe pas à ce jour de données probantes remettant en cause le modèle sans seuil, utilisé en radioprotection.

*La commission constate que la connaissance des effets des radiations, en particulier aux faibles doses, s'améliore constamment ; certains aspects doivent cependant être explorés plus avant par exemple : les marqueurs de sensibilité, l'effet du débit de dose ou d'une exposition chronique. Ces sujets sont importants pour améliorer la protection des individus exposés lors de l'utilisation industrielle ou médicale des radiations ; ils peuvent être à la base d'évolutions réglementaires.*

*La commission considère comme essentielles les études effectuées dans ce domaine et encourage le maintien d'équipes de recherche étoffées sur ces sujets. La formation de spécialistes en radioprotection doit être encouragée en particulier celle de physicien d'hôpital.*

*La Commission rappelle par ailleurs que la gestion à long terme des déchets radioactifs a pour but de mettre les êtres humains et l'environnement à l'abri des radiations produites par ces déchets. L'utilisation de systèmes passifs ne requérant pas d'intervention humaine après leur mise en place répond à cet objectif de protection. Ainsi, un stockage en surface peut permettre d'éviter toute irradiation pendant plusieurs siècles alors qu'un stockage en profondeur isole les déchets pendant des millénaires. Les inévitables retours vers la biosphère accessible se font alors à des niveaux très inférieurs au bruit de fond naturel.*

## LES ENJEUX POUR L'ENVIRONNEMENT

### *Écotoxicologie*

Dans le cadre de ses études sur la nocivité des matières et déchets radioactifs, l'IRSN s'intéresse aux effets de la radioactivité sur la flore et la faune. Cette préoccupation relativement récente répond à des attentes sociétales en croissance. Ces travaux recherchent des effets déterministes ; c'est-à-dire des effets macroscopiques déterminant la sensibilité des espèces (SSD) comme la survie des populations (de plantes ou d'animaux), la croissance, la capacité de reproduction. L'approche est analogue à celle utilisée pour évaluer les effets des toxiques chimiques. On observe sur certaines espèces des effets multigénérationnels avec croissance des effets d'une génération sur l'autre.

87

### *Phytotechnologies et réhabilitation des sols contaminés*

La phytoremédiation a fait l'objet de nombreuses études pour son application à des sols contaminés (industries, mines...). Le projet DEMETERRES a développé (2014-2019, CEA et 5 organismes), du laboratoire à une échelle pré-industrielle, un ensemble de technologies de remédiation des sols et des effluents contaminés, sélectives des radionucléides, principalement <sup>137</sup>Césium. Ces technologies sont non intrusives et optimisées en matière de volume de déchets secondaires. Elles touchent conjointement au domaine des biotechnologies, bioremédiation et phyto-extraction, et des technologies physico-chimiques dites éco-compatibles. La décontamination *in situ* des sols par la technique de phytoremédiation s'adresse à des sols faiblement contaminés. En pratique, seule la contamination au Cs a été étudiée (le strontium migrant rapidement vers la profondeur il n'est pas susceptible d'être remobilisé par les plantes).

La phyto-extraction est basée sur l'analogie physico-chimique Cs/K. Plusieurs mécanismes ont été identifiés et caractérisés par une approche génétique afin d'optimiser l'absorption, le transfert et l'accumulation du Cs dans la plante. Deux effets inverses peuvent être recherchés :

- On peut réduire de manière très importante le transfert du césium vers la partie aérienne de la plante afin de permettre son utilisation sans risque. Une des méthodes consiste à augmenter la profondeur et la surface des racines alors que le Cs est connu pour rester dans les premiers cm de sol. Des résultats probants sont obtenus par exemple avec du riz qui peut malgré la contamination du sol être propre à la consommation (module Safe-Food du projet) ;

- À l'inverse, on peut maximiser le transfert du Cs vers la partie aérienne de la plante qui est ensuite récoltée et incinérée avec récupération du Cs par filtration des fumées (module Biosol du projet). On pourrait ainsi réduire d'un facteur 2 la durée de contamination des sols (habituellement de l'ordre de 30 ans).

Ces mécanismes ont été validés au laboratoire puis dans des parcelles contaminées au Japon. Les acquis du projet DEMETERRES servent de base pour des discussions actuelles, d'une part pour leur mise en œuvre à une échelle significative sur le site de Fukushima et d'autre part pour les étendre à d'autres marchés de dépollution. Un projet DEMETERRES II est en création.

*La Commission appelle à l'intensification des recherches sur les différentes techniques d'assainissement des sols, et sur leurs domaines d'application, dont le besoin ira croissant compte tenu du nombre de sites qui seront à démanteler et à assainir.*

## ANNEXE X : PANORAMA INTERNATIONAL SUR L'ÉVOLUTION DES PROCESSUS DE GOUVERNANCE EN MATIÈRE DE GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

### a) Les États-Unis

Les États-Unis disposent depuis 1999 d'une installation de stockage final (Le WIPP) pour les déchets de moyenne activité à vie longue issus des programmes de défense. Il n'y a toutefois pas de plan de gestion intégrant l'ensemble des flux de déchets produits par le parc électronucléaire du pays qui pratique le cycle ouvert. Les propriétaires de combustibles usés en provenance des réacteurs commerciaux paient une redevance au gouvernement, à charge pour ce dernier de stocker ces combustibles définitivement. Il n'y a pas de système de financement robuste sur le long terme.

En 2002, le Congrès a approuvé la décision du Président Georges W. Bush de localiser le site de stockage des déchets de haute activité à vie longue à Yucca Mountain dans le Nevada, et en 2008, le DOE a introduit une demande d'autorisation de construction à la NRC (Nuclear Regulatory Commission). Le processus s'est arrêté en 2010 lorsque l'administration Obama a déclaré le stockage « impraticable » et institué la commission « Blue Ribbon on America's Nuclear Future » (BRC) pour effectuer des recommandations sur les étapes futures. La BRC a depuis lors remis son rapport, le DOE (Department of Energy) a répondu favorablement et des auditions ont eu lieu au Sénat sur des législations bipartisanes destinées à mettre en œuvre les recommandations de la BRC. Le blocage, qui a occulté toute discussion sérieuse tant technique que politique, ne sera probablement pas levé dans un avenir proche.

Toute nouvelle législation doit être fondée sur une connaissance et une analyse profondes de l'historique du programme de gestion des déchets radioactifs aux États-Unis et sur les défis scientifiques, techniques, sociétaux et politiques qui le caractérisent.

Les producteurs de déchets ont poursuivi le gouvernement en justice pour ne pas avoir établi le stockage définitif et celui-ci a été condamné à de fortes pénalités. La situation aujourd'hui est telle que les producteurs encaissent des pénalités qui s'avèrent plus élevées que la redevance qu'ils paient au gouvernement pour stocker définitivement les déchets. Il apparaît ainsi qu'il n'y a aucune incitation financière ou autre motif particulier pour faire évoluer la situation. L'administration Biden doit encore indiquer comment relever ce défi.

Un comité indépendant, le U.S. Nuclear Waste Technical Review Board, conseille le Congrès des États-Unis et le Secrétaire à l'énergie sur les questions techniques liées à la gestion des déchets radioactifs.

### b) Le Royaume-Uni

Le gouvernement du Royaume-Uni a choisi le stockage géologique pour la gestion à long terme des déchets de moyenne et haute activité à vie longue en 2006, sans exprimer de préférence pour une formation hôte particulière. La première procédure de sélection d'un site a été arrêtée début 2013, suite au retrait de la candidature du comté de Cumbria, qui a entraîné celui des deux autres communautés candidates. Sur la base de l'expérience acquise, le gouvernement a développé une nouvelle approche de participation sociétale au choix d'un site, qu'il a soumise à consultation publique et publiée en 2014 sous forme de livre blanc. La phase préparatoire de cette approche, qui a duré quatre ans, a notamment compris une étude géologique nationale, l'élaboration d'une politique nationale et le développement d'un processus de travail détaillé avec

les communautés. La Nuclear Decommissioning Authority (NDA), responsable de la gestion à long terme des déchets radioactifs, a publié en juillet 2018 sa stratégie de gestion de tous les déchets radioactifs, soumise ensuite à consultation publique (jusqu'en fin octobre 2018). Le 19 décembre 2018, le gouvernement anglais a publié un document qui détermine le plan de gestion des déchets hautement radioactifs et relance le processus de recherche de site, basé sur des critères géologiques et sur l'engagement volontaire des communautés-hôtes. Une consultation publique sur la méthode proposée pour évaluer les sites s'est terminée à la fin du mois de mars 2019. Le choix du site n'est pas attendu avant 15 à 20 ans. La société Radioactive Waste Management (RWM), filiale à 100% de la NDA, est responsable de la sélection du site et de la mise en œuvre du stockage. Le Committee on Radioactive Waste Management (CoRWM) a été institué en 2003 pour conseiller, de manière indépendante, le gouvernement du Royaume-Uni.

### c) Le Canada

Le Canada s'est préoccupé de la gestion des combustibles après passage en réacteur dès le développement de l'énergie nucléaire dans les années 1950-1960. Après passage en réacteur CANDU (eau lourde, et uranium naturel) le combustible possède encore un potentiel énergétique important. La gestion à cette époque consistait en premier lieu en un entreposage intérimaire du combustible sur le site des réacteurs ; ensuite un entreposage en profondeur pour une durée de plusieurs siècles était envisagé pour finalement ramener le combustible en surface car ne présentant plus de risque significatif d'irradiation directe. Toutefois, la radiotoxicité du combustible reste importante et, vu l'abondance de l'uranium sur le territoire canadien, la perspective de récupération à terme du combustible a été abandonnée au profit du cycle ouvert. S'y ajoutaient des considérations de non-prolifération. L'industrie nucléaire canadienne s'est alors orientée vers la solution technique de stockage profond en définissant en 1975 l'objectif de gestion à long terme :

*"...isolate and contain the radioactive material so that no long-term surveillance by future generations will be required and that there will be negligible risk to man and his environment at any time. ... Storage underground, in deep impermeable strata, will be developed to provide ultimate isolation from the environment with the minimum of surveillance and maintenance."*

Cette politique a été mise en œuvre en 1978 avec le soutien des gouvernements fédéral et ontarien sur base de rapports établis par l'industrie et l'administration. Ils ont mis en place le « Canadian Program for Nuclear Fuel Management » dont l'exécution a été confiée à l'AECL Ltd. Ces décisions, essentiellement prises sur une base technique, furent quasi immédiatement contestées par une série d'acteurs. Le gouvernement de l'Ontario décida d'instituer la « Royal Commission on Electric Power Planning » qui remis ses conclusions en 1980. Celles-ci identifiaient clairement le déséquilibre entre les aspects techniques et sociétaux du projet :

*« While the science and technology of managing and disposing of high-level radioactive wastes appears to be advancing purposely, the social and political aspects of the problem are much less tractable, not least because they have been virtually ignored. Indeed, we believe that these problems transcend science and technology and that the debate will be conducted with increasing emphasis on politics and ethics. Unless consensus is achieved on a broad basis, the resulting uncertainties, delays, and cost escalation will impact negatively on the scientific programs. It is important that appropriate mechanisms be put in place to ensure a meaningful dialogue between the critics of nuclear power and the proponents. (Porter 1980 : 168) »*

En conséquence, les Gouvernements fédéral et de l'Ontario donnèrent instruction à l'AECL de développer un concept générique ne requérant pas de procédure de recherche de site, établissant d'autre part le principe de la consultation de la population avant implantation d'une installation de stockage à un endroit donné. L'AECL développa donc un concept générique qu'elle appuya notamment par la construction d'un laboratoire de recherche situé dans un batholithe du bouclier canadien non loin de Whiteshell au Manitoba. Ce laboratoire a été mis en service en 1985. En 1988, AECL remit son projet de concept au gouvernement fédéral qui le

soumis à un processus d'évaluation environnementale conformément à la loi. Ce processus s'est étendu sur 10 ans. En parallèle, le ministre de l'environnement institua en 1989 une « Commission de l'évaluation environnementale du concept de gestion et de stockage permanent des déchets de combustible nucléaire ». Cette commission, qui procéda à de multiples consultations, aboutit dans son rapport remis en 1998 à la conclusion fondamentale suivante :

- *“From a technical perspective, safety of the AECL concept has been on balance adequately demonstrated for a conceptual stage of development, but from a social perspective, it has not.*
- *As it stands, the AECL concept for deep geological disposal has not been demonstrated to have broad public support. The concept in its current form does not have the required level of acceptability to be adopted as Canada's approach for managing nuclear fuel wastes.”*

En 1996, le Gouvernement prit une loi-cadre établissant les principes gouvernant la gestion institutionnelle et financière de l'élimination des déchets radioactifs par leurs propriétaires et producteurs. La loi place au niveau de l'Etat la responsabilité de garantir une gestion sûre et environnementalement responsable des déchets mais, en application du principe pollueur-payeur, charge les propriétaires et producteurs de la responsabilité opérationnelle et financière de la gestion dans le cadre des plans approuvés. Suite aux recommandations de la commission, une nouvelle loi fut adoptée en 2002 créant la Société de gestion des déchets nucléaires ayant pour mission de « formuler des propositions de gestion des déchets nucléaires à l'intention du gouvernement du Canada et de mettre en œuvre celle éventuellement retenue ». La société de gestion fut chargée de faire un rapport au gouvernement dans les trois ans à partir de sa création et d'indiquer parmi les méthodes suivantes celle qui aurait sa préférence : l'évacuation en couches géologiques profondes dans le Bouclier canadien, l'entreposage à l'emplacement des réacteurs nucléaires, l'entreposage centralisé en surface ou souterrain. La société jouit dans l'exercice de sa mission d'une grande autonomie tant vis-à-vis du gouvernement que des producteurs de déchets. Elle est accompagnée dans ses travaux par un comité consultatif indépendant dont les rapports sont entièrement publics.

Au terme des trois ans qui lui étaient impartis, la société de gestion proposa ce qu'elle appela une quatrième voie : « la méthode de gestion adaptative et progressive » proposant de mettre en œuvre l'option de stockage géologique selon un processus « adaptable, participatif et progressif » qui impliquerait également le consentement des collectivités locales impliquées par le projet.

Cette proposition, validée par le comité consultatif, fut adoptée par le gouvernement en 2007. La société fut chargée de l'exécution de sa proposition et, après une large consultation, fixa le processus de choix de site par étapes.

Le processus de sélection de site a commencé en 2010 et n'a pas encore abouti aujourd'hui. Le processus se déroule sur la base du volontariat, 22 communautés se sont portées candidates au départ. Il appartient à chaque communauté de déterminer les mécanismes participatifs qu'elle souhaite mettre en place ; de façon générale, la démocratie directe joue un rôle prédominant et les communautés ont un droit de veto ; le rôle des municipalités consiste essentiellement à encadrer les processus et à vérifier que l'intérêt à participer au processus est toujours présent. La Société de Gestion vérifie que le projet peut répondre aux exigences de sûreté et représente une valeur ajoutée pour la communauté.

Sur les 22 communautés de départ, 2 restent encore en lice à ce jour.

#### **d) Le Japon**

Le Japon a tenté d'ouvrir la procédure de sélection d'un site pour le stockage de ses déchets radioactifs de haute activité à vie longue à un large public sans succès jusqu'à présent. Des efforts importants ont par le passé été déployés par le gouvernement pour intéresser les municipalités japonaises à s'engager dans des études de faisabilité. Une campagne d'information couvrant tout le pays a été lancée pour accroître la connaissance concernant la gestion des déchets et la nécessité de s'y impliquer. Depuis 2015, le gouvernement japonais a décidé de sélectionner lui-même des sites répondant aux critères géologiques de stockage profond, tout en informant la population de ses activités. « L'étude géologique nationale », publiée fin juillet 2017, répartit les communes japonaises en plusieurs catégories, suivant leur potentialité à héberger un stockage à une profondeur minimale de 300 mètres. Cette étude va servir de base au processus de sélection, en trois étapes, prévu par la loi et au dialogue sociétal qui se déroulera en parallèle. Le choix définitif d'un site est attendu pour 2025, pour une mise en service du stockage en 2035. En 2018, l'Organisation japonaise responsable de la gestion des déchets radioactifs (NUMO) a organisé une quarantaine de réunions, basées sur le dialogue, pour expliquer au public le projet de stockage. Elle apporte par ailleurs son soutien aux projets ayant une dimension sociétale afin de répondre aux préoccupations exprimées par le public lors de ces réunions.

#### **e) L'Allemagne**

L'Allemagne impose l'enfouissement de tous ses déchets radioactifs dans des formations géologiques. L'autorisation de construction d'un stockage géologique pour les déchets de faible et moyenne activité à Konrad, une ancienne mine de fer (calcaire) située sous une couverture argileuse, a été accordée en 2002 et confirmée en 2007. Le stockage, en construction, devrait être opérationnel en 2028. Les déchets seront stockés à une profondeur entre 800 et 1300 mètres).

La loi Standortauswahlgesetz, entrée en vigueur le 27 juillet 2013, impose une nouvelle procédure de recherche d'un site de stockage géologique des déchets de haute activité et des combustibles usés. Elle a conduit à la création d'une commission composée de 33 membres issus du monde scientifique, de la société civile, du Bundestag et du Bundesrat, ayant pour mission d'établir les critères de sélection du futur site de stockage. Cette commission a remis son rapport final au gouvernement en juillet 2016. Elle préconise la mise en stockage géologique des déchets, en envisageant la réversibilité du stockage, et propose un processus de sélection de site en trois étapes : sélection des régions, investigation à partir de la surface et explorations souterraines. Les citoyens et une commission de suivi, instaurée par le Bundestag, devront être associés à chaque étape. Elle n'écarte aucun type de roche hôte (argile, granite, sel) ni aucun site en Allemagne (n'excluant donc pas le site de Gorleben, étudié notamment via un laboratoire souterrain de 1977 à 2000). Son calendrier prévoit la sélection du site au plus tard en 2031 pour une mise en service en 2050. Ce rapport a servi de base à la révision de la loi de 2013, promulguée le 16 mai 2017, qui précise les modalités de recherche d'un site.

La législation allemande a fortement évolué ces dernières années, redéfinissant les rôles et responsabilités dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs. Le gouvernement a désormais la charge du financement de l'entreposage et du stockage des déchets radioactifs alors qu'un nouvel organisme, le Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), est responsable de la réalisation de solutions de gestion pour tous les déchets radioactifs. BGE est donc notamment chargé de la sélection d'un site de stockage géologique pour les déchets de haute activité et les combustibles usés, de la construction et de la mise en œuvre du stockage. BGE doit également gérer les sites d'Asse, de Gorleben et de Morsleben (qui a abrité un laboratoire souterrain de 1981 à 1998).

L'ancienne mine de sel d'Asse, qui fut un laboratoire souterrain de recherche sur le stockage géologique des déchets de faible et moyenne activité dans les années soixante et soixante-dix, a été exploitée à la même époque, selon les règles du droit minier, pour la mise en stockage pilote de ces déchets. Cette exploitation a pris fin en 1978, suite à une analyse de sûreté défavorable du site. Les activités de recherche y ont été maintenues jusqu'en 1995. La mine a changé de statut début 2009, et relève désormais du droit nucléaire. Les autorités fédérales ont décidé d'en retirer les déchets et ont donné l'autorisation de démarrer la première phase de récupération des déchets en vue de leur gestion ultérieure. Elles ont également adopté en 2013 une loi visant à supprimer les obstacles juridiques à une fermeture en toute sûreté du puits Asse II après enlèvement des déchets (Lex Asse).

## **f) L'Espagne**

En Espagne, la production d'électricité au moyen de centrales nucléaires a débuté en 1965. Aujourd'hui, les trois premières centrales sont arrêtées et à différents stades de démantèlement. La mise à l'arrêt de l'ensemble des 7 centrales encore en exploitation est planifié de façon progressive sur la période 2027 à 2035, après environ 44 à 46 années de fonctionnement.

Pour les premiers réacteurs, le cycle fermé avait été choisi, des contrats de retraitement étant conclus avec la France pour la centrale de Vandellos I et avec le Royaume Uni pour la centrale José Cabrera. Toutefois, cette approche stratégique a été modifiée rapidement en faveur du cycle ouvert pour la gestion du combustible usé.

Dans le but de centraliser et de gérer correctement les déchets radioactifs, une société publique, ENRESA, a été créée en 1984. ENRESA est une compagnie publique (sous tutelle de l'administration centrale) dont le budget est à la charge de l'état mais en fait principalement des producteurs d'électricité (compagnies privées propriétaires des centrales nucléaires) au travers d'une redevance spécifique sur la facture d'électricité de chaque consommateur final.

93

Très tôt, ENRESA a préparé un Plan National pour les Déchets Radioactifs (I NPNW), qui devait être revu et adapté périodiquement. Depuis le début (1986), ENRESA a développé un stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à El Cabril (Cordoba). Cette installation est aujourd'hui en exploitation et a connu différentes extensions. La partie réservée aux déchets faiblement actifs est quasi remplie (78% de taux de remplissage) et une nouvelle extension est prévue pour 2026. Les deux parties réservées aux déchets moyennement radioactifs sont remplies à 25% et 18%.

Pour les déchets de haute activité (combustibles usés), l'option de gestion à long terme est le stockage en couche géologique profonde (Deep Geological Disposal-DGR). En conséquence, ENRESA a organisé en interne un département de géologie, chargé d'un programme important de repérage des différentes zones géologiques. Un relevé détaillé a été effectué dans la période 1986-2001, jusqu'à une échelle de 1 : 20.000. Trois types de formations géologiques dans l'argile, le granite et le sel ont été identifiées comme favorables pour l'implantation d'un stockage géologique profond. Jusqu'à 2005, les activités de développement d'une solution de long terme, le stockage géologique profond, ont été poursuivies en élaborant un concept et une esquisse du stockage et en réalisant différents projets de R&D, y compris des travaux expérimentaux en laboratoires souterrains à l'étranger.

Le plan national en vigueur actuellement (VI NPNW-2006) doit être revu et mis en conformité avec les différentes directives européennes. Dans le VI NPNW, la création d'un entreposage intérimaire centralisé (Centralized Interim Storage-CIS) en surface pour le combustible usé était prioritaire. Suivant le VI NPNW, le CIS devait être prêt en 2010 de même que le stockage géologique profond en 2050. Cela avait été déclaré « objectif prioritaire » par le parlement espagnol. Plusieurs gouvernements locaux ont montré leur intérêt pour accueillir une telle installation. Dans le cadre d'un processus compétitif, 3 sites ont été présélectionnés et finalement, le site situé dans la localité de « Villar de Canas » (Cuenca) a été choisi pour la construction d'un entreposage intérimaire centralisé d'une durée de 60 ans.

Toutefois, à la suite de changements d'ordre politique aux niveaux local, régional et national un arrêt temporaire du projet a été décidé en 2020 par le ministre de la Transition Ecologique qui exerce la tutelle sur ENRESA.

Fin 2018, une mission de l'AIEA, associant les services d'ARTEMIS (Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and remediation) et de l'IRRS (Integrated Regulatory Review Service), a procédé à une revue par les pairs du système espagnol. Les recommandations finales ont été envoyées aux trois institutions qui partagent les responsabilités en la matière : le ministre, l'autorité de sûreté nucléaire et ENRESA :

- *“The Government should complement the existing legal regulatory framework by developing regulation and an implementation plan for establishing the Deep Geological Disposal facility. This plan should clarify the roles and responsibilities and engagement of the appropriate stakeholders, at each stage of implementation”.*
- *“Further, CSN (the Spanish Nuclear Safety Council) and other competent authorities should develop a plan for regulatory engagement, licensing submissions and regulatory hold points in consultation with ENRESA and other appropriate stakeholders”.*
- *“In addition, ENRESA should proactively complete establishment of the technical basis of the geological disposal program, particularly the site selection process, and define the major milestones with proposed deadlines”.*

Ces recommandations ont maintenant été incluses dans le VII NPNW établi par ENRESA et en attente d'approbation finale par le Conseil des ministres. Dans la proposition de VII NPNW un plan d'action est établi qui fixe la chronologie suivante :

94

- L'installation d'entreposage centralisée sera autorisée pour 2028. Les installations d'entreposage de combustibles usés situées sur les sites des centrales nucléaires pourront continuer à être exploitées ou, le cas échéant, démantelées jusqu'au moment où l'entreposage intérimaire sera disponible.
- Concernant le stockage géologique, les lignes directrices sont la mise à jour de la connaissance et de la technologie, la préparation d'une procédure et d'un programme de prise de décision pour la sélection d'un site, le développement d'un concept générique de l'installation ainsi que d'une méthodologie d'évaluation de sûreté et la proposition d'un cadre réglementaire et normatif. Le programme indicatif propose d'initier le processus de sélection de site sur la base non seulement d'exigences techniques mais aussi des actions nécessaires pour l'information et la participation du public, des parties prenantes et des institutions concernées. Les étapes successives devaient être : l'analyse des sites candidats ; la caractérisation du site ; l'autorisation et la construction ; la mise en service et les essais ; la phase d'exploitation courante ; et finalement un plan pour après la fermeture.
- D'après les estimations reprises dans la proposition de programme, l'autorisation de l'installation devrait être donnée vers 2060 et l'exploitation débuter vers 2073.

#### **g) La Belgique**

Depuis les années 1970, la Belgique a étudié la mise en stockage profond comme solution de gestion à long terme pour les déchets de moyenne et haute activité à vie longue. À la suite d'un relevé des couches géologiques potentielles sur le territoire belge en 1974, le Centre d'études nucléaires a saisi l'opportunité de la présence sous son site de Mol d'une couche d'argile plastique, l'argile de Boom, à environ 200 m de profondeur pour y construire un laboratoire de recherche. Ces études, qui ont pour la plupart bénéficié des programmes européens de

recherche, ont été poursuivies par l'Organisme National des Déchets Radioactifs et des matières Fissiles enrichies (ONDRAF) lorsque celui-ci est devenu opérationnel en 1982. Les connaissances acquises ont été intégrées, à la demande des ministres de tutelles de l'ONDRAF, dans des rapports d'étapes en 1989, SAFIR (Safety Assessment and Feasibility Interim Report) et en 2001, SAFIR 2. Il a été conclu de ces études que l'argile de Boom offrait un potentiel élevé pour la mise en stockage des déchets. Ces conclusions ont été validées par différentes revues demandées par le ministre de tutelle, notamment à l'Agence pour l'Énergie Nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE). De plus, la construction d'une galerie reliant le laboratoire initial à un second puits creusé en 1997-1999 a démontré la faisabilité de la construction de galeries de stockage par des méthodes industrielles.

Cependant, n'ayant jamais été confrontés au test de l'acceptabilité sociétale, ces travaux de nature purement scientifique et technique n'apportaient pas de légitimité formelle à une éventuelle solution de stockage dans l'argile de Boom. Ce manque de légitimité a été souligné par l'ONDRAF lui-même à l'occasion de la publication du rapport SAFIR 2 ainsi que par les experts de l'AEN.

Le ministre de tutelle en a pris acte et a donné en 2004 instruction à l'ONDRAF non seulement de poursuivre le programme de recherche mais aussi de développer un programme à orientation sociétale afin d'impliquer les différentes parties intéressées, de définir un processus décisionnel partagé et d'analyser les alternatives possibles à la solution d'un stockage dans l'argile de Boom. La difficulté de principe pour mettre ce programme à exécution est d'une part de permettre l'ouverture du débat et d'autre part de faire en sorte que celui-ci soit conclusif. Une autre difficulté est l'absence de règles de sûreté spécifiques applicables à un stockage géologique. Pour ce faire l'organisme, partant d'une feuille blanche, a décidé d'établir un « plan déchets » soutenu par une étude d'impact environnemental (EIE). Le développement de ces documents s'est appuyé sur une large consultation sociétale dépassant le cadre réglementaire normalement prévu par la loi pour l'établissement d'une EIE. Finalement, le « plan déchets », qui préconisait le stockage en profondeur le plus tôt possible dans une argile peu indurée et dans une installation unique sur le territoire belge, a été transmis en 2011 au gouvernement avec en support (a) l'EIE, (b) le résultat de la consultation sociétale (conférences citoyennes participatives, conférence interdisciplinaire des parties prenantes), (c) le rapport de la conférence de consensus organisée indépendamment de l'ONDRAF par la Fondation Roi Baudouin, (d) la consultation légale. Toutes ces consultations ont notamment largement convergé vers la mise en exergue des points suivants : la réversibilité du concept, la récupérabilité des déchets, la contrôlabilité, et le transfert de la mémoire et de la connaissance aux générations futures.

Le gouvernement belge étant à l'époque limité à la gestion des affaires courantes, les ministres de tutelle accusèrent formellement réception du plan tout en demandant à l'ONDRAF de poursuivre les études relatives au stockage profond dans une argile peu indurée ainsi que celles relatives aux solutions alternatives dont l'analyse n'avait pas été poursuivie dans le plan.

Cela laissait la situation à la croisée des chemins d'autant plus que l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire dont l'avis avait été demandé de façon volontaire par l'ONDRAF, a émis l'opinion, basée sur une interprétation littérale du principe d'optimisation de la protection, que le choix d'une roche hôte était prématuré. La tutelle de l'ONDRAF a suivi cet avis en 2016.

Entretemps, la parution de la Directive 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, transposée en droit belge en 2014, a modifié le cadre institutionnel selon lequel la gestion à long terme des déchets doit être développée.

De plus, la légitimité acquise après l'élaboration du « plan déchets » s'étant érodée au cours du temps, l'ONDRAF s'est vu contraint de relancer le processus compte tenu également de l'évolution du cadre réglementaire. La procédure a été relancée en 2018 en restreignant la décision demandée au choix de la solution de stockage géologique. Une nouvelle EIE a été établie et soumise à consultation du public entre le 15 avril et le 13 juin 2020, dans le contexte difficile de la pandémie Covid-19.

La procédure suit actuellement son cours.

## **h) La Suède**

La Suède a très tôt adopté un système de gestion intégré pour tous les flux de déchets existant dans le pays. Un ensemble de lois portant sur les activités nucléaires, le financement des moyens pour gérer les déchets nucléaires et un code de l'environnement ont tous été mis en place pour guider et soutenir le programme suédois de gestion des déchets nucléaires. Un entreposage souterrain centralisé des combustibles usés sous eau a été mis en service en 1985 ainsi qu'un stockage définitif pour les déchets de faible et moyenne activité en 1988.

Le gouvernement attend de SKB qu'elle soumette un rapport tous les trois ans concernant le programme de recherche prévu. Le rapport est revu par toutes les parties prenantes et un avis de l'autorité de sûreté, SSM, est soumis au gouvernement avant que celui-ci s'exprime sur la qualité du programme de recherche. De même, les prélèvements dédiés au financement sont revus tous les trois ans pour évaluer si le niveau de ces financements doit être ajusté.

En 2009, SKB a décidé, après plus de trois décades de recherche et plus de deux décades de sélection de site sur base de consentement (pas moins de 8 études de faisabilité dans 8 communautés), de localiser le site du stockage final des combustibles usés dans la municipalité de Östhammar et l'usine d'encapsulation dans la municipalité de Oskarshamn. En 2011, une demande d'autorisation de construire le stockage a été introduite auprès du gouvernement. Depuis lors, les consultations des parties prenantes ont été poursuivies et se sont intensifiées pendant l'évaluation de la demande par les autorités. Il est largement connu que SKB a le programme de dialogue et de consultation le plus étendu avec les parties intéressées.

Un aspect important de la demande de SKB traitait des alternatives envisagées (une alternative est une autre façon d'atteindre le même niveau de sûreté sans nécessité de contrôle par la société après fermeture) et des raisons pour lesquelles elles avaient été rejetées, y compris une description détaillée de la dénommée « alternative zéro » (ne rien faire d'autre que d'entreposer le combustible usé de façon temporaire) et l'explication de ses conséquences.

SSM a donné le feu vert pour la demande d'autorisation, la Cour environnementale a émis son avis et il appartient maintenant au gouvernement de se prononcer.

Une des difficultés du système suédois est qu'il est très difficile de prédire combien de temps va durer l'instruction d'une demande d'autorisation. Après dix ans (une période longue), SKB n'a toujours pas de vision sur le calendrier du gouvernement pour prendre sa décision. Le système suédois a prouvé son efficacité sur bien des points mais il révèle une faiblesse par le fait qu'il semble à ce jour difficile de conclure le processus d'autorisation au niveau national.

## **i) La Finlande**

La Finlande a un programme de gestion intégré des déchets radioactifs. Un stockage définitif pour les déchets de faible et moyenne activité est en construction depuis de nombreuses années et un système de financement est en place.

L'installation est basée sur le concept de stockage définitif « KBS-3 » mis au point par la Société suédoise de gestion du combustible et des déchets nucléaires (SKB) en étroite coopération avec Posiva, la société finlandaise chargée du stockage définitif du combustible nucléaire usé. Avec la méthode KBS-3, le combustible usé est placé dans des conteneurs en cuivre résistants à la corrosion qui sont ensuite enrobés d'argile gonflante à l'intérieur de tunnels de dépôt situés à une profondeur maximale de 500 mètres.

La Finlande a plus ou moins le même système de dialogue avec le public (toutefois à plus petite échelle) que la Suède mais, à en juger par les résultats, une gouvernance plus efficace des autorités de sûreté et du gouvernement. La Finlande a aussi une méthode différente concernant la façon de gérer très tôt dans le processus la question relative aux alternatives au concept de référence. En effet, une fois que l'évaluation et le débat ont été conduits à leur terme sur le concept proposé, et le concept KBS-3 jugé sûr, la discussion sur d'autres alternatives n'a jamais été réouverte. La Finlande a ainsi déclaré très tôt dans le processus décisionnel que la dénommée « alternative zéro », qui revient simplement à entreposer le combustible usé de façon temporaire, n'était pas acceptable par la société.

La Finlande est à présent en train de construire le site de stockage souterrain comme prévu. Le programme de gestion des déchets en Finlande est en phase avec l'ambition affichée du pays d'amplifier sa production nucléaire.

## **j) La Suisse**

Dans le cadre du développement de l'énergie nucléaire en Suisse à partir des années 1950-1960, les producteurs de déchets radioactifs ont fondé en 1972 une société privée, la Société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs (CEDRA/NAGRA), chargée de la gestion des déchets radioactifs.

Il était considéré à l'époque que la gestion des déchets radioactifs appartenait à un futur lointain. Cependant, la loi sur l'énergie nucléaire de 1978 et son arrêté d'application ont prévu que toute nouvelle autorisation de centrale nucléaire en Suisse ne serait accordée que si la gestion des déchets radioactifs produits était assurée et la possibilité de leur stockage durable démontrée. Cette exigence était également étendue aux centrales en exploitation. Les exploitants des centrales ont alors chargé la CEDRA de produire cette démonstration dans le délai imposé par la législation. Ce projet reçut le nom de « projet garantie 1985 » et fut transmis par la CEDRA au gouvernement fédéral en 1985. Cette étude prouvait la faisabilité du stockage géologique pour les différentes catégories de déchets. Elle a été présentée aux autorités nucléaires suisses et à un groupe d'experts suisses et étrangers. Entre-temps, la CEDRA avait mis en service le laboratoire souterrain du Grimsel dans le granite, avec collaboration internationale pour y effectuer des recherches indépendantes d'un site particulier.

Sur la base des différents avis, le gouvernement fédéral a décidé en 1988 que la preuve de la sûreté avait été apportée pour les différentes catégories de déchets mais que, pour les déchets de moyenne et haute activité à vie longue, l'existence d'un site potentiel devait encore être démontrée suivant en cela l'avis de l'autorité de sûreté. Toutes ces actions ont comme base l'expertise scientifique et technique et se sont faites sans implication du public au sens large.

Pendant la période qui suivit, la CEDRA a tenté l'implantation d'un stockage pour les déchets de faibles et moyenne activité sur le site du Wellenberg dans le canton de Nidwald ; ce projet a été rejeté par référendum cantonal en 1995 et la procédure générale d'autorisation suspendue en 1997 par le gouvernement fédéral. En parallèle, les activités de reconnaissance de terrains se sont poursuivies dans les roches cristallines et sédimentaires. Le laboratoire du Grimsel a continué ses activités et le laboratoire du Mont Terri, dans l'argile, a été ouvert en 1996.

En 1999, le groupe d'experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs (EKRA) a été créé. Dans son premier rapport, remis en janvier 2000, la commission proposait le concept de « stockage géologique durable contrôlé ». Ce modèle permet de combiner le stockage final avec l'option de réversibilité. Il a été repris dans la loi sur l'énergie nucléaire de 2003 sous la désignation de « dépôt en profondeur ». Dans ce premier rapport, l'EKRA recommandait d'« encourager les débats publics sur la question de la gestion des déchets nucléaires ».

En 2002, dans un deuxième rapport, l'EKRA a émis toutes une série de recommandations et constatations dont plusieurs portent sur l'organisation du programme, le dialogue et la participation :

- Dans le domaine de la gestion des déchets nucléaires, les structures organisationnelles ne sont pas immédiatement lisibles. La Confédération devrait à cet égard clarifier les structures et les compétences ce qui améliorerait la transparence, augmenterait le degré d'acceptation des programmes par l'opinion publique et faciliterait leur mise en œuvre. Il serait également bénéfique que les différentes tâches et activités soient davantage coordonnées.
- La gestion des déchets est un sujet explosif. Il ne saurait toutefois y avoir de solution praticable sans un véritable dialogue sociétal. Il s'agit dès lors d'élargir et de dépassionner le débat, rendant ainsi possible le développement d'une argumentation nuancée. Pour encourager le dialogue et la participation, l'EKRA suggère de créer une nouvelle instance consultative, le « Conseil de gestion ».
- Des facteurs comme le manque de soutien des autorités politiques, l'attitude réservée des administrations concernées et le manque d'acceptation sociale de la NAGRA et du GNW (société coopérative pour la gestion des déchets suisses au Wellenberg), pénalisent la mise en œuvre des projets.
- La recherche sur la gestion des déchets radioactifs dépend aujourd'hui pour l'essentiel des producteurs de déchets. La recherche (fondamentale) indépendante est largement absente des programmes des grandes écoles en Suisse; l'offre de formation dans le domaine de la gestion des déchets nucléaires est pauvre. La recherche est aussi indispensable à la mise en œuvre du stockage souterrain en profondeur.

L'EKRA ayant terminé sa mission a été dissoute en 2003. Sur la base de ses travaux, une nouvelle loi sur l'énergie nucléaire a été adoptée en 2003 qui encadre la poursuite des travaux à partir de son entrée en vigueur en 2005.

En préalable à la recherche de site, l'approbation finale de la faisabilité du stockage final pour les déchets de haute activité a été prononcée en juin 2006. Le dossier technique a été validé par l'autorité de sûreté et s'appuyait également sur une consultation publique et des études d'impacts socio-économiques.

La sélection de sites pour l'aménagement de dépôts en couches géologiques profondes est dorénavant réglée dans le plan sectoriel « Dépôts en couches géologiques profondes » (PSDP) » outil utilisé pour coordonner des tâches d'importance nationale dans le cadre d'une seule procédure organisant la collaboration entre les autorités fédérales cantonales et communales en tenant compte des intérêts respectifs. Trois étapes ont été prévues au cours desquelles les domaines d'implantation sont progressivement sélectionnés. Chaque étape se termine par une décision du Conseil fédéral.

Etape 1 : Avril 2008 à décembre 2011

La première étape portait essentiellement sur l'identification de domaines d'implantation géologiques appropriés, sur la base de critères géologiques et relevant de la sécurité technique. Lors de cette étape, la CEDRA a proposé trois domaines d'implantation pour les déchets hautement radioactifs (DHR) et six pour les déchets faiblement et moyennement radioactifs (DFMR), qui ont été confirmés par l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) après examen. Le Conseil fédéral a intégré les six domaines d'implantation dans le plan sectoriel. Des conférences régionales ont été mises en place à la fin de l'étape 1 pour permettre la participation des régions d'implantation.

## Etape 2 : Décembre 2011 à novembre 2018

A l'étape 2, la Nagra était chargée de présenter au minimum deux sites par type de dépôt (DFMR et DHR), y compris les emplacements pour les installations de surface. Elle a proposé deux domaines d'implantation susceptibles d'accueillir chacun un dépôt DHR ou un dépôt DFMR. Après avoir fait l'objet d'une consultation, l'étape 2 s'est achevée par une décision du Conseil fédéral en novembre 2018. Lors de la deuxième étape, la participation des cantons et des régions d'implantation envisagés s'est accrue. En collaboration avec les régions d'implantation, des études socioéconomiques ont réalisées.

## Etape 3 : Novembre 2018 à fin 2029

Pour les domaines d'implantation restant en lice, les connaissances géologiques spécifiques au site seront complétées. Les conférences régionales seront impliquées dans les projets de dépôts. Les répercussions d'un dépôt sur la société, l'économie et l'environnement feront l'objet d'examens approfondis (analyse de l'impact socio-économique). La Nagra devrait déposer les demandes d'autorisation générale relatives aux dépôts en couches géologiques profondes en 2024. Ces demandes seront examinées par les autorités. Le Conseil fédéral se prononcera sur ces demandes à la fin des années 2020.

L'autorisation générale délivrée après cette procédure doit être approuvée par le Parlement et est sujette au référendum facultatif. La procédure devrait donc aboutir vers 2030.



# COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

Membres de la Commission Nationale d'Évaluation :

**Gilles PIJAUDIER-CABOT**

**Anna CRETI\*\***

**Jean-Claude DUPLESSY\***

**Christophe FOURNIER**

**Philippe GAILLOCHET**

**Olivier GALLAND\*\***

**Robert GUILLAUMONT\***

**Saïda LAAROUCHI ENGSTRÖM**

**Vincent LAGNEAU**

**Emmanuel LEDOUX\***

**Mickaële LE RAVALEC**

**Maurice LEROY**

**Virginie MARRY**

**José-Luis MARTINEZ**

**Jean-Paul MINON**

Secrétaire général & Conseiller scientifique :

**François STORRER**

Président honoraire :

**Bernard TISSOT**

Secrétariat administratif :

**Véronique ADA-FAUCHEUX**

**Florence LEDOUX**

\* Expert invité

\*\* Membre ayant démissionné en janvier 2021

# COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

---

Président : **Gilles PIJAUDIER-CABOT**

Vice-Présidents : **Mickaële LE RAVALEC & Maurice LEROY**

Secrétaire général & Conseiller scientifique : **François STORRER**

Secrétariat administratif : **Véronique ADA-FAUCHEUX & Florence LEDOUX**

**[www.cne2.fr](http://www.cne2.fr)**

244 boulevard Saint-Germain • 75007 Paris • Tél. : 01 44 49 80 93 et 01 44 49 80 94

ISSN : 2257-5758