

# Plan national

de gestion des matières  
et des déchets radioactifs

2016 – 2018





# Sommaire

## Avant-propos

## Introduction

### **1 La gestion des matières et déchets radioactifs : principes et objectifs 10**

#### ***1.1 Présentation des matières et déchets radioactifs ..... 10***

1.1.1 Définitions ..... 10

1.1.2 Origine des matières et déchets radioactifs ..... 13

1.1.3 Classification usuelle des matières et déchets radioactifs ..... 15

1.1.4 Inventaire des matières et des déchets radioactifs ..... 17

#### ***1.2 Les principes à prendre en compte pour définir les filières de gestion de déchets radioactifs ..... 22***

1.2.1 Prévention, réduction de la production et de la nocivité des déchets et prise en compte des filières de gestion dès la conception des installations ..... 23

1.2.2 Filières de valorisation ..... 24

1.2.3 Définition d'une filière de gestion pour les déchets radioactifs ultimes ..... 24

#### ***1.3 Le cadre juridique et institutionnel de la gestion des déchets ..... 31***

1.3.1 Les accords internationaux ..... 31

1.3.2 Le cadre européen ..... 32

1.3.3 Le cadre législatif en France ..... 33

1.3.4 Le cadre réglementaire en France ..... 36

1.3.5 Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs ..... 40

1.3.6 Les acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs ..... 41

#### ***1.4 Le coût et le financement de la gestion des matières et des déchets ..... 46***

1.4.1 Dispositions législatives et réglementaires sur la sécurisation du financement des charges de long terme ..... 46

1.4.2 Modalités de contrôle des exploitants ..... 47

1.4.3 Montants des provisions et des actifs dédiés constitués ..... 49

#### ***1.5 La transparence ..... 51***

1.5.1 L'information et la participation du public ..... 51

1.5.2 Les travaux du groupe de travail du PNGMDR ..... 52

### **2 La gestion des matières radioactives ..... 54**

#### ***2.1 Contexte et enjeux ..... 55***

2.1.1 Présentation du cycle du combustible ..... 56

2.1.2 État des lieux des flux et stocks de matières ..... 60

2.1.3 Modalité d'évaluation du caractère valorisable des matières ..... 63

#### ***2.2 Filières de gestion ..... 64***

2.2.1 L'uranium (naturel, appauvri, enrichi et de retraitement) ..... 66

2.2.2 Les combustibles à base d'oxyde d'uranium (UO<sub>x</sub> et URE) ..... 71

2.2.3 Les combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MO<sub>x</sub>, rebuts MO<sub>x</sub>, SuperPhénix et Phénix) ..... 73

2.2.4	Les combustibles des réacteurs de recherche et de propulsion navale .....	76
2.2.5	Le plutonium .....	77
2.2.6	Le thorium .....	78
2.2.7	Autres matières .....	81
2.2.8	Scénarios prospectifs d'utilisation des matières radioactives .....	81
<b>2.3</b>	<b><i>Travaux sur les réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération.....</i></b>	<b>82</b>
<b>3</b>	<b>Les filières existantes de gestion des déchets radioactifs : bilan et perspectives.....</b>	<b>84</b>
<b>3.1</b>	<b><i>La gestion des situations historiques.....</i></b>	<b>84</b>
3.1.1	Contexte et enjeux.....	84
3.1.2	Les stockages historiques de déchets radioactifs dans les installations de stockage de déchets conventionnels.....	86
3.1.3	Les stockages historiques de déchets radioactifs au sein ou à proximité d'INB ou d'INBS	87
3.1.4	Les anciens stockages de déchets à radioactivité naturelle élevée .....	92
<b>3.2</b>	<b><i>La gestion des résidus de traitement miniers et des stériles .....</i></b>	<b>94</b>
3.2.1	Contexte et enjeux.....	95
3.2.2	Cadre réglementaire.....	96
3.2.3	Les travaux du groupe d'expertise pluraliste du Limousin .....	98
3.2.4	Les enjeux liés à l'exploitation minière d'uranium .....	99
3.2.5	Gestion des anciens sites d'extraction minière.....	99
3.2.6	La gestion des rejets diffus et le traitement des eaux .....	100
3.2.7	L'impact dosimétrique .....	102
3.2.8	Gestion à long terme des sites de stockage des résidus du traitement de minerais .	103
3.2.9	L'évolution à long terme des résidus de traitement de minerais d'uranium.....	103
3.2.10	La gestion de l'impact dosimétrique à long terme .....	104
3.2.11	La tenue à long terme des digues de rétention des sites de stockage de résidus de traitement minier .....	106
3.2.12	La gestion des stériles miniers.....	107
<b>3.3</b>	<b><i>La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée (NORM).....</i></b>	<b>110</b>
3.3.1	Contexte en enjeux .....	110
3.3.2	La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée.....	111
3.3.3	Recommandations et perspectives .....	113
<b>3.4</b>	<b><i>La gestion des déchets à vie très courte.....</i></b>	<b>114</b>
<b>3.5</b>	<b><i>La gestion des déchets TFA.....</i></b>	<b>116</b>
3.5.1	Contexte et enjeux.....	116
3.5.2	Inventaire des déchets TFA .....	118
3.5.3	Limitation de la production des déchets .....	118
3.5.4	Modalités de gestion par les producteurs.....	119
3.5.5	La valorisation .....	120
3.5.6	L'incinération.....	126
3.5.7	Le stockage des déchets TFA sur site ou à proximité des sites de production .....	127
3.5.8	Le stockage des déchets au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires).....	128
3.5.9	Optimisation des filières de gestion des déchets TFA .....	130
3.5.10	Transport des déchets radioactifs.....	131

<b>3.6</b>	<b><i>La gestion des déchets FMA-VC.....</i></b>	<b>132</b>
3.6.1	Contexte et enjeux.....	132
3.6.2	Modalités de gestion par les producteurs.....	133
3.6.3	La fusion/valorisation.....	134
3.6.4	L'incinération.....	135
3.6.5	Le stockage .....	137
<b>4</b>	<b><i>Les filières de gestion à mettre en place : besoins et perspectives ....</i></b>	<b>141</b>
<b>4.1</b>	<b><i>La gestion des déchets FA-VL .....</i></b>	<b>141</b>
4.1.1	Contexte et enjeux.....	141
4.1.2	La caractérisation des déchets FAVL .....	143
4.1.3	Le conditionnement et les options de traitement .....	145
4.1.4	L'entreposage .....	147
4.1.5	Recommandations et perspectives .....	149
<b>4.2</b>	<b><i>La gestion des déchets HA et MA-VL .....</i></b>	<b>153</b>
4.2.1	Contexte et enjeux.....	153
4.2.2	Le traitement et le conditionnement des déchets .....	157
4.2.3	La séparation-transmutation des actinides mineurs.....	163
4.2.4	L'entreposage des déchets HA et MA-VL.....	167
4.2.5	Adéquation des moyens de transport avec l'exploitation du stockage .....	173
4.2.6	Le stockage réversible en couche géologique profonde .....	178
4.2.7	Le principe de réversibilité .....	184
4.2.8	Les études d'adaptabilité (déchets susceptibles d'être stockés en couche géologique profonde	186
<b>4.3</b>	<b><i>La gestion des déchets nécessitant des travaux spécifiques .....</i></b>	<b>189</b>
4.3.1	Gestion des déchets actuellement sans filière.....	189
4.3.2	La gestion des déchets contenant du tritium .....	192
4.3.3	La gestion des sources scellées usagées .....	197
4.3.4	La gestion des déchets des petits producteurs hors électronucléaire.....	202
4.3.5	La gestion des déchets de Malvési.....	203
4.3.6	La gestion de déchets issus d'un accident nucléaire – Le Comité Directeur pour la gestion de la phase Post-Accidentelle.....	207

## Conclusion

## Glossaire

## Annexes :

- Annexe 1 : Rappel des principales orientations des PNGMDR successifs depuis 2007 et liste des études demandées par le PNGMDR 2016-2018
- Annexe 2 : Dimension sociétale, concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture des stockages de déchets radioactifs, préservation de la mémoire
- Annexe 3 : Synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers
- Annexe 4 : Volet recherche pour la période 2016-2018
- Annexe 5 : Accords intergouvernementaux conclus par la France en matière de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs (accords en vigueur au 31 décembre 2015, énumérés dans l'ordre chronologique)

# Avant-propos

Les matières et les déchets radioactifs doivent être gérés de façon durable, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement. La limitation des charges qui seront supportées par les générations futures doit être recherchée.

Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) constitue un outil de pilotage privilégié pour mettre en œuvre ces principes dans la durée, selon le cadre fixé par le code de l'environnement et la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs. Ce plan, mis à jour tous les trois ans, dresse le bilan de la politique de gestion des substances radioactives sur le territoire national, recense les besoins nouveaux et détermine les objectifs à atteindre, notamment en termes d'études et de recherches pour l'élaboration de nouvelles filières de gestion. La force du PNGMDR est sa vocation d'exhaustivité : il concerne à la fois les déchets ultimes et les matières radioactives valorisables, à la fois les filières de gestion existantes et celles en projet, en développement ou à définir ; il concerne également toutes les catégories de déchets radioactifs quelle que soit leur origine. L'intérêt de cette démarche a été confirmé au niveau européen par la directive 2011/70/Euratom du Conseil établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs adoptée le 19 juillet 2011 qui l'a généralisée. Enfin, ce nouveau PNGMDR intègre en outre les orientations de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

Pour cette nouvelle édition du PNGMDR, la quatrième depuis 2007, nous avons cherché à prendre en compte tant le retour d'expérience de l'exercice écoulé que les remarques formulées sur les précédentes versions du PNGMDR, notamment celles de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. La Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) s'attachent à inscrire le PNGMDR dans un processus d'amélioration continue, au fil des éditions successives, tant sur la présentation que sur son contenu. Aussi, toutes les suggestions des lecteurs permettant d'enrichir le Plan et de le rendre plus lisible sont naturellement les bienvenues.

Afin de bâtir la confiance, la transparence et la qualité de l'information sont cruciales. De même, le dialogue et la concertation, notamment avec les représentants de la société civile, doivent être au cœur de l'élaboration des politiques publiques.

La DGEC et l'ASN ont ainsi choisi de rédiger le PNGMDR sur la base des présentations et échanges réalisés au sein d'un groupe de travail pluraliste, comprenant notamment des associations de protection de l'environnement, des experts, des représentants de commissions locales d'information et des autorités de contrôle, aux côtés d'acteurs industriels et des producteurs et gestionnaires de déchets radioactifs. 53 réunions de ce groupe de travail se sont ainsi tenues depuis 2003. Nous tenons à remercier chaleureusement l'ensemble des membres de ce groupe de travail pour leur participation et à les féliciter pour leur contribution, dont la qualité doit être soulignée, et sans qui autant de progrès n'auraient pu être réalisés en quelques années.

À des fins de transparence, et conformément à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, le PNGMDR sera rendu public et diffusé sur les sites internet de l'ASN et de la DGEC. Une

synthèse à visée plus pédagogique et informative sera également publiée pour rendre le PNGMDR accessible au plus grand nombre. En application des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement, les incidences probables de la mise en œuvre de cette nouvelle édition du PNGMDR sur l'environnement ont par ailleurs fait l'objet d'une évaluation environnementale stratégique, dont le rapport et l'avis associé de l'Autorité environnementale seront mis à disposition du public pour compléter son information. Le PNGMDR 2016-2018 et son évaluation environnementale permettront ainsi de donner une vision intégrée des enjeux associés à la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Le PNGMDR propose des pistes pour améliorer la gestion de l'ensemble des matières et des déchets radioactifs. Ces propositions sont issues du travail considérable engagé depuis la première version du PNGMDR couvrant la période 2007-2009, travail intégrant notamment la réalisation puis l'évaluation des études demandées par le Gouvernement. Si les progrès réalisés sont appréciables, le travail doit cependant être continuellement poursuivi. Il est à noter qu'en application du principe pollueur-payeur, tous ces travaux continueront à être financés, directement ou indirectement, par les producteurs des matières et déchets radioactifs.

Si les matières et déchets radioactifs sont d'ores et déjà gérés de façon sûre sous le contrôle des Autorités de sûreté nucléaire, nous ne saurions trop souligner à quel point la mise en œuvre des recommandations présentées dans ce PNGMDR nous apparaît essentielle. De nouveaux axes de travail sont aujourd'hui ouverts, portant notamment sur la nocivité à long terme des déchets radioactifs dans une perspective environnementale globale, les perspectives de valorisation à long terme de certaines matières radioactives, ou encore les stratégies d'entreposage mises en œuvre par les exploitants dans l'attente de la mise en place de solutions de gestion définitive. Les réponses aux questions soulevées conditionneront notre capacité à ne pas reporter la charge de la gestion de ces déchets sur les générations futures.

# Introduction

Face à la grande diversité des matières et des déchets radioactifs, il peut être difficile de saisir la pertinence et la cohérence du cadre de gestion mis en place. Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) vise à clarifier ce cadre de gestion, et à l'améliorer. À cette fin, il dresse un bilan de la politique de gestion, recense les besoins et détermine les objectifs à atteindre à l'avenir.

L'efficacité du PNGMDR a été confirmée par le Parlement. Le rapport d'évaluation du PNGMDR 2013-2015 par l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Techniques<sup>1</sup> (OPECST) salue ainsi un « PNGMDR plus accessible, mieux structuré que les précédents, alors même qu'il couvre un domaine toujours plus vaste ». Il souligne « la poursuite de la progression du travail réalisé par le groupe de travail pluraliste du PNGMDR » qui a contribué à l'élaboration du Plan. Outre les progrès qui sont soulignés, le rapport formule quelques pistes d'amélioration via des recommandations portant sur l'organisation du groupe de travail du PNGMDR. Des axes d'amélioration visant à favoriser l'échange et la concertation ainsi que la transparence et l'information du public ont été engagés à la lumière de l'avis de l'OPECST par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Les actions déjà engagées en ce sens ont été naturellement poursuivies.

Le PNGMDR permet au public de disposer d'une vision globale de la gestion des matières et déchets radioactifs. L'intérêt majeur du PNGMDR est ainsi sa vocation à l'exhaustivité.

L'article L. 542-1-2 du code de l'environnement définit plus précisément les objectifs du PNGMDR : celui-ci « dresse le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets radioactifs et des solutions techniques retenues, recense les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage et précise les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage. Il fixe les objectifs généraux à atteindre, les principales échéances et les calendriers permettant de respecter ces échéances en tenant compte des priorités qu'il définit. Il détermine les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif ». Cet article précise également que le PNGMDR « organise la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et des déchets radioactifs en fixant des échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion, la création d'installations ou la modification des installations existantes [...] », et qu'il « comporte, en annexe, une synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers ».

Le PNGMDR 2016-2018 a été révisé dans sa structure afin de donner une vision plus stratégique de la gestion des matières et des déchets radioactifs en renforçant les enjeux liés aux matières radioactives et en présentant la gestion des déchets par filières. La présentation de certains sujets (gestion des déchets de démantèlement, gestion des matières, combustibles usés, etc.) a par ailleurs été complétée. Le document est structuré en quatre grandes parties : la présentation des principes et des objectifs de la gestion des matières et des déchets radioactifs qui inclut un rappel du cadre juridique et institutionnel ; le bilan des modes d'utilisation et des perspectives de

---

<sup>1</sup> Rapport au nom de l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques sur l'évaluation du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, PNGMDR 2013-2015.

valorisation des matières radioactives ; le bilan et les perspectives d'évolution des filières de gestion existantes ; et les besoins et perspectives pour les filières de gestion à mettre en place. Plusieurs annexes sont incluses : une présentation des études menées sur la préservation de la mémoire ; une synthèse des réalisations et recherches conduites dans les pays étrangers ; une présentation détaillée des études et recherches à mener dans les prochaines années concernant la gestion des matières et des déchets radioactifs ; une présentation des concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture des stockages ; et la liste des accords intergouvernementaux conclus par la France avec d'autres pays en matière de gestion du combustible usé ou des déchets radioactifs.

Nota : Les recommandations et indicateurs du PNGMDR, numérotés par chapitre, sont introduits au fil du texte et signalés par les lettres respectives suivantes :

- R : Recommandation,
- I : Indicateur.

# 1 La gestion des matières et déchets radioactifs : principes et objectifs

## 1.1 Présentation des matières et déchets radioactifs

Parmi les substances radioactives, le code de l'environnement distingue les matières et les déchets radioactifs.

Ces substances sont qualifiées de matières radioactives lorsque, du fait notamment de leurs propriétés radioactives, fissiles, fertiles ou fusibles, une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée. Il s'agit principalement de combustibles nucléaires en cours d'utilisation ou usés, de l'uranium naturel, enrichi, appauvri ou issu du traitement, du plutonium et du thorium.

Si aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée, alors ces substances radioactives sont qualifiées de déchets. On parle de déchets ultimes quand un déchet ne peut plus être traité dans les conditions techniques et économiques du moment.

Concernant les déchets radioactifs, la classification française usuelle repose sur deux paramètres : le niveau d'activité des éléments radioactifs et leur période. Cette classification comprend les principales catégories suivantes :

- les déchets de haute activité (HA),
- les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL),
- les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL),
- les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC),
- les déchets de très faible activité (TFA),
- les déchets à très courte période (<100 jours), gérés par décroissance radioactive puis éliminés dans les filières conventionnelles.

Les matières et déchets radioactifs produits depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle sont principalement issus de cinq secteurs économiques : le secteur électronucléaire, le secteur de la recherche, le secteur de la Défense, le secteur de l'industrie non-électronucléaire et le secteur médical.

Un Inventaire national de ces matières et des déchets radioactifs est établi tous les trois ans par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). L'édition 2015 recense les matières et les déchets existants fin 2013 et présente les prévisions à fin 2020 et fin 2030 ainsi qu'à terminaison du parc nucléaire actuel.

### 1.1.1 Définitions

Au sens du code de l'environnement (article L. 542-1-1), « une **substance radioactive** est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection ».

Ces substances radioactives peuvent être qualifiées de matières radioactives ou de déchets radioactifs selon l'utilisation ultérieure qui peut être prévue ou envisagée :

- « lorsqu'une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement », la substance radioactive peut être qualifiée de **matière radioactive**<sup>2</sup> ;
- « lorsqu'aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée », la substance radioactive est qualifiée de **déchet radioactif**.

Par ailleurs, en application de l'article L. 542-13-2, une matière radioactive peut néanmoins être requalifiée en déchet radioactif par l'autorité administrative si ses perspectives de valorisation ne sont pas suffisamment établies.

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 vient également préciser cette notion de déchet, en impliquant la responsabilité de l'État membre dans la qualification d'une substance en tant que déchet radioactif et par corollaire en tant que matière radioactive : un déchet radioactif est « une substance radioactive sous forme gazeuse, liquide ou solide pour laquelle aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée par l'État membre ou par une personne morale ou physique dont la décision est acceptée par l'État membre, et qui est considérée comme un déchet radioactif par une autorité de réglementation compétente dans le cadre législatif et réglementaire de l'État membre ». Ainsi, la qualification en tant que matière radioactive d'une substance peut être la conséquence d'une décision de l'État (c'est par exemple le cas des combustibles usés de manière générique en application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement) ou d'une décision de son propriétaire. Dans ce dernier cas, l'autorité de contrôle peut s'opposer à cette qualification et demander un classement en tant que déchet radioactif.

Une substance radioactive est qualifiée de **déchet radioactif ultime** lorsque ce déchet « ne peut plus être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de sa part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

En France, lorsqu'une substance contient des radionucléides, la justification du contrôle de radioprotection n'est pas nécessairement établie à partir d'un seuil d'activité ou de concentration par radionucléide. La justification d'un tel contrôle est, à titre conservatoire, présumée établie lorsque des substances proviennent d'une activité dite nucléaire<sup>3</sup> et qu'elles sont contaminées, activées ou susceptibles de l'être.

Les **activités nucléaires** (article L. 1333-1 du code de la santé publique) sont des « activités comportant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants (...) émanant soit d'une source artificielle (...) soit d'une source naturelle lorsque les radionucléides naturels sont traités ou l'ont été en raison de leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles (...) ». Dans le cadre de la transposition de la directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants, cette notion d'activité nucléaire a été étendue par l'ordonnance du

---

<sup>2</sup> À titre d'exemple, lorsqu'un combustible nucléaire ayant servi au fonctionnement d'un réacteur est définitivement retiré du cœur du réacteur (« **combustible usé** »), il contient encore des substances qui peuvent être utilisées. Le combustible usé est traité en France pour en extraire les matières valorisables que sont le plutonium et l'uranium, d'où un classement dans la catégorie des matières radioactives.

<sup>3</sup> À l'exception d'activités nucléaires marginales qui sont exemptées d'autorisation ou de déclaration, où seules des « très faibles quantités » de radionucléides sont employées et pour lesquelles un seuil d'activité défini n'est pas dépassé (article R. 1333-18 du code de la santé publique).

10 février 2016 portant diverses dispositions en matière nucléaire à l'ensemble des sources naturelles de radioactivité à partir du moment où elles justifient la mise en place de contrôles de radioprotection.<sup>4</sup>

Pour les activités nucléaires relevant du régime des installations nucléaires de base (INB), des installations nucléaires de base secrètes (INBS), les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et pour celles autorisées, enregistrées ou déclarées au titre du code de la santé publique, tout déchet contaminé, activé ou susceptible de l'être doit, à titre conservatoire, être géré comme s'il était radioactif. Ainsi, il doit faire l'objet d'une gestion spécifique et renforcée qui inclut notamment le stockage des déchets ultimes dans un centre dédié<sup>5</sup> aux déchets radioactifs.

À la différence de la politique menée par plusieurs autres pays européens en matière de gestion des déchets de très faible activité, la réglementation française ne prévoit pas de libérer les déchets de très faible activité de cette obligation<sup>6</sup> mais de faire reposer la distinction des déchets radioactifs et des déchets « conventionnels » issus d'une activité nucléaire sur la base d'un zonage géographique des lieux où ils sont produits, fondé sur une analyse du fonctionnement de l'installation et non sur une mesure de radioactivité. Des dérogations à ces dispositions peuvent néanmoins être accordées si les modes de gestion alternatifs sont considérés comme justifiés à savoir qu'ils présentent plus de bénéfices que d'inconvénients sans engendrer d'impact sanitaire significatif.

Le choix, fait par la France dans les années 90, de mettre en œuvre une politique de gestion des déchets radioactifs sans faire usage de seuils de libération a fait suite à une série d'incidents qui ont mis en évidence la possibilité de diffusion de déchets potentiellement radioactifs dans le domaine conventionnel<sup>7</sup>. Le mode de gestion français, fondé en premier lieu sur l'origine des déchets, permet de garantir la gestion de tous les déchets potentiellement radioactifs en provenance des installations nucléaires de base dans des filières dédiées et tracées de la production du déchet jusqu'à son stockage. Il présente en particulier une grande simplicité de mise en œuvre sur le terrain<sup>8</sup>, ce qui a permis son appropriation par l'ensemble de la chaîne d'intervention qui garantit sa robustesse.

---

<sup>4</sup> L'ordonnance définit les activités nucléaires comme les « activités comportant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants lié à la mise en œuvre soit d'une source artificielle, qu'il s'agisse de substances ou de dispositifs, soit d'une source naturelle, qu'il s'agisse de substances radioactives naturelles ou de matériaux contenant des radionucléides naturels ». Cette définition est cependant d'entrée en vigueur différée (au plus tard le 1<sup>er</sup> juillet 2017)

<sup>5</sup> À l'exception des déchets gérés par décroissance radioactive en application de la décision n° 2008-DC-0095 du 29 janvier 2008 de l'ASN.

<sup>6</sup> En application de la directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants, qui autorise la mise en place d'une approche intégrant le concept de libération, ce qui correspond à la sortie d'un matériau du domaine réglementé, certains pays mettent en œuvre des seuils de libération, exprimés en activité massique (Bq/g), qui sont soit universels (quels que soient le matériau, son origine et sa destination), soit dépendant du matériau, de son origine et de sa destination.

<sup>7</sup> Une explication détaillée de cette décision est faite dans l'édition 2007-2009 du PNGMDR.

<sup>8</sup> L'absence de procédure de libération permet notamment, en sortie de zone à production possible de déchets nucléaires, de réduire les contrôles métrologiques dédiés, dont la définition et la mise en œuvre (traçabilité métrologique, validation des méthodes de mesure, détermination des limites de détection, etc...) sont potentiellement lourdes et coûteuses.

Les travaux menés sur le recyclage de certains matériaux de très faible activité dans le respect du cadre réglementaire national sont présentés au chapitre 3.5.5 de ce Plan.

Pour les autres activités, la justification ou non d'un contrôle de radioprotection est appréciée selon le critère d'une exposition limitée : la somme des doses efficaces dues à ces activités reçues par toute personne exposée ne doit pas dépasser 1 mSv par an<sup>9</sup>, et selon une étude d'acceptabilité relative à l'impact radiologique associé à la prise en charge des déchets qui doit démontrer qu'un contrôle de radioprotection n'est pas justifié. Dans ce cas, le déchet peut, sous certaines conditions, ne plus être considéré comme radioactif et être accepté dans des installations de stockage conventionnelles. Les déchets concernés sont notamment des déchets à radioactivité naturelle élevée dont les conditions de gestion sont décrites dans le chapitre 3.3 du présent rapport. Dans le cadre de la transposition de la directive 2013/59, ces modalités de gestion seront revues dans la mesure où les activités mettant en œuvre des radionucléides d'origine naturelle dont les expositions ne peuvent être négligées du point de vue de la radioprotection seront désormais considérées comme des activités nucléaires.

### 1.1.2 Origine des matières et déchets radioactifs

Les substances radioactives peuvent être naturelles ou être la conséquence d'activités humaines, sans que la frontière entre ces deux origines soit, dans ces certains cas, simple à définir. Par exemple, certains matériaux naturels peuvent être utilisés par l'homme selon des modalités telles qu'elles donnent lieu à une concentration d'éléments radioactifs naturels, sans pour autant que leurs propriétés radioactives soient utilisées.

Les sources naturelles de rayonnements ionisants sont nombreuses : minerais et matériaux renfermant des radionucléides naturellement présents dans notre environnement (isotopes d'uranium et de thorium, tritium, potassium 40, carbone 14, ou éléments en filiation comme le radium et le radon), rayonnement cosmique, etc. Les radionucléides naturels sont répartis dans tous les compartiments de l'environnement. De plus, la concentration en radionucléides est extrêmement variable selon le matériau et son origine : l'exposition aux radionucléides d'origines naturelles peut varier de plus d'un ordre de grandeur selon les régions du monde (de 2,4 mSv/an en moyenne en France à plus de 50 mSv/an dans certaines parties de l'Inde, de l'Iran ou du Brésil).

Outre ces sources naturelles, la manipulation depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle des substances radioactives par les activités humaines a conduit à la production de matières et déchets radioactifs, qui proviennent principalement de cinq secteurs économiques :

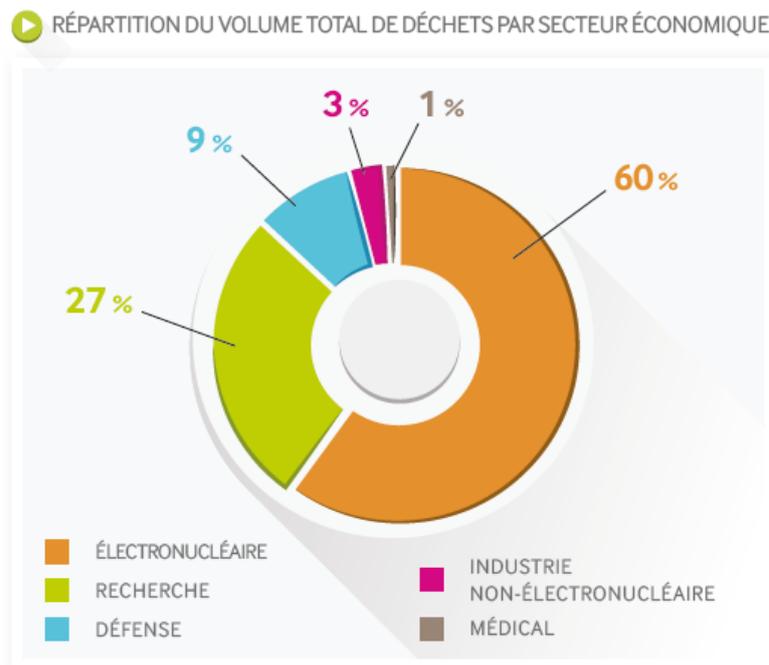
- le secteur électronucléaire qui comprend principalement les centres nucléaires de production d'électricité (CNPE), ainsi que les usines dédiées à la fabrication et au traitement du combustible nucléaire (extraction et traitement du minerai d'uranium, conversion chimique des concentrés d'uranium, enrichissement et fabrication du combustible, traitement du combustible usé et recyclage),

---

<sup>9</sup> L'article R.1333-8 du code de la santé publique dispose que « la somme des doses efficaces reçues par toute personne n'appartenant pas aux catégories mentionnées à l'article R. 1333-9, du fait des activités nucléaires, ne doit pas dépasser 1 mSv/an. »

- le secteur de la recherche qui comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil (notamment les activités de recherche du CEA), les laboratoires de recherche médicale, de physique des particules, d'agronomie, de chimie,
- le secteur de la Défense : il s'agit principalement des activités liées à la force de dissuasion, dont la propulsion nucléaire de certains navires ou sous-marins, ainsi que des activités de recherche associées,
- le secteur de l'industrie non-électronucléaire qui comprend notamment l'extraction de terres rares, la fabrication de sources scellées mais aussi diverses applications comme le contrôle de soudure, la stérilisation de matériel médical, la stérilisation et conservation de produits alimentaires,
- le secteur médical qui comprend les activités thérapeutiques, de diagnostic et de recherche.

Les secteurs ayant historiquement le plus contribué à la production de déchets radioactifs en France sont les secteurs électronucléaire et de la recherche, principalement dans le domaine du nucléaire civil, ainsi que, dans une moindre mesure, la Défense. La contribution respective de chacun de ces secteurs aux stocks de déchets à fin 2013 (hors déchets « historiques » et déchets « déjà produits » de l'usine de conversion de Malvési) est donnée par la figure ci-après. Concernant le secteur de la recherche, à l'origine de 27 % des volumes des déchets, 95 % des volumes sont issus du CEA et 5 % des autres organismes de recherche (CNRS, universités...).



(Source : Andra)

### 1.1.3 Classification usuelle des matières et déchets radioactifs

Conformément aux définitions précisées dans le paragraphe 1.1.1, on distingue, d'une part, les matières radioactives et, d'autre part, les déchets radioactifs.

Les modes de gestion des substances radioactives considérées comme des matières radioactives sont présentés en partie 2 du présent document ; les modes de gestion des substances radioactives considérées comme des déchets radioactifs sont présentés en parties 3 et 4.

Les matières radioactives ne font pas l'objet d'une classification particulière. Il s'agit dans les faits essentiellement de substances radioactives pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée en raison de leurs caractères radioactifs, fissiles, fusibles ou fertiles, soit pour l'essentiel d'uranium (naturel, enrichi ou appauvri), de combustibles (en cours d'utilisation ou usés), d'uranium et plutonium séparés par traitement des combustibles usés, et de matières valorisables issues d'industries autres que l'industrie électronucléaire (principalement des matières contenant du thorium).

Concernant les déchets radioactifs, la classification française usuelle repose principalement sur deux paramètres pour définir le mode de gestion approprié : le niveau d'activité des éléments radioactifs contenus et leur période de décroissance radioactive. Ces deux critères peuvent en effet être reliés à la nocivité de ces déchets et à la durée pendant laquelle cette nocivité demeure. On distingue en particulier, les déchets contenant majoritairement des radionucléides dont la période est inférieure à 31 ans (déchets dits « à vie courte ») des déchets contenant majoritairement des radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans (déchets dits « à vie longue »).

Cette classification comprend les principales catégories suivantes :

- **les déchets de haute activité (HA)**, principalement constitués des colis de déchets vitrifiés issus des combustibles usés après traitement. Ces colis de déchets concentrent la grande majorité de la radioactivité contenue dans l'ensemble des déchets, qu'il s'agisse des produits de fission ou des actinides mineurs. Le niveau d'activité de ces déchets est de l'ordre de plusieurs milliards de becquerel par gramme (Bq/g) au moment de leur production et conditionnement ;
- **les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)**, principalement issus des combustibles usés après traitement et des activités de fonctionnement et de maintenance des usines de traitement du combustible. Il s'agit de déchets de structure, des coques et embouts constituant la gaine du combustible nucléaire, conditionnés dans des colis de déchets cimentés ou compactés, ainsi que de déchets technologiques (outils usagés, équipements, etc.) ou encore de déchets issus du traitement des effluents comme les boues bitumées. L'activité de ces déchets est de l'ordre d'un million à un milliard de Bq/g ;
- **les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)**, essentiellement des déchets de graphite et des déchets radifères. Les déchets de graphite proviennent essentiellement du démantèlement des réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG). Le graphite issu de ces réacteurs contient des radionucléides à vie longue comme le carbone 14 (période 5 700 ans). Son niveau de radioactivité est de l'ordre de plusieurs centaines de milliers de Bq/g. Les déchets radifères, en majorité issus d'activités industrielles non-électronucléaires (comme le traitement de minéraux contenant des terres rares), possèdent

une activité comprise entre quelques dizaines et quelques milliers de Bq/g. Cette catégorie FA-VL comprend également d'autres types de déchets tels que certains colis de bitume anciens, des résidus de traitement de conversion de l'uranium issus de l'usine d'Areva située à Malvési, etc. ;

- **les déchets de faible activité et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)**, essentiellement issus du fonctionnement, de la maintenance et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible, des centres de recherche et pour une faible partie des activités de recherche médicale. L'activité de ces déchets se situe entre quelques centaines et un million de Bq/g ;
- **les déchets de très faible activité (TFA)**, majoritairement issus du fonctionnement, de la maintenance et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche. Le niveau d'activité de ces déchets est en général inférieur à 100 Bq/g ;
- **les déchets à vie très courte (VTC)**, provenant principalement du secteur médical ou de la recherche. Ils sont entreposés sur leur site d'utilisation le temps de leur décroissance radioactive, avant élimination dans une filière conventionnelle correspondant à leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

Cette classification permet schématiquement d'associer à chaque catégorie de déchets une ou plusieurs filières de gestion, qui seront développées plus en détail dans les parties suivantes. Le tableau ci-après les présente de manière synthétique.

		Déchets dits à vie très courte contenant des radioéléments de période < 100 jours	Déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement de radionucléides de période $\leq 31$ ans	Déchets dits à vie longue qui contiennent une quantité importante de radionucléides de période > 31 ans <sup>10</sup>
	<b>Très faible activité (TFA)</b>	Gestion par décroissance radioactive	Recyclage ou stockage dédié en surface	
	<b>Faible activité (FA)</b>		Stockage de surface sauf certains déchets tritiés et certaines sources scellées	Stockage en faible profondeur Filière en projet dans le cadre de l'article 4 de la loi du 28 juin 2006
	<b>Moyenne activité (MA)</b>			Stockage en couche géologique profonde
	<b>Haute activité (HA)</b>	Non applicable <sup>11</sup>	Filière en projet dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006	

*Principes de classification des déchets radioactifs*

<sup>10</sup> Ou une concentration en élément de période inférieure à 31 ans, supérieure aux critères d'acceptation d'un centre de stockage de surface

<sup>11</sup> La catégorie des déchets de haute activité à vie très courte n'existe pas.

Il convient de souligner deux aspects importants concernant la classification des déchets radioactifs :

- il n'existe pas de critère de classement unique permettant de déterminer la catégorie d'un déchet. Il est en effet nécessaire d'étudier la radioactivité des différents radionucléides présents dans le déchet pour le positionner dans la classification. Cependant, à défaut d'un critère unique, les déchets de chaque catégorie se situent en général dans la gamme de radioactivité massique indiquée ci-avant ;
- un déchet peut relever d'une catégorie définie mais ne pas être accepté dans la filière de gestion correspondante du fait d'autres caractéristiques (sa composition chimique ou ses propriétés physiques par exemple).

#### **1.1.4 Inventaire des matières et des déchets radioactifs**

Conformément aux dispositions législatives et réglementaires détaillées dans le chapitre 1.3, un Inventaire national des matières et déchets radioactifs est élaboré, mis à jour et publié tous les trois ans par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) sur la base de déclarations réalisées par les producteurs de déchets radioactifs et les détenteurs de matières radioactives. Il comprend les documents suivants :

- les « Essentiels de l'Inventaire national », regroupant les données synthétiques et globales de stocks et prévisions,
- le « Rapport de synthèse »,
- le « Catalogue descriptif des familles » de déchets radioactifs,
- l'« Inventaire géographique », compilant toutes les déclarations faites par les producteurs et détenteurs de matières et de déchets radioactifs,
- un document à destination du grand public dénommé « Le point sur l'Inventaire national ».

L'édition 2015 de l'Inventaire national détaille les quantités de déchets radioactifs entreposés ou stockés à fin 2013, leur localisation et leur répartition par catégorie et secteur économique. Cette édition présente les prévisions de production de déchets à fin 2020, à fin 2030 ainsi qu'à l'issue de la durée de vie des installations existantes ou autorisées, selon des scénarios définis par les industriels qui exploitent ces installations. L'Inventaire national présente également des inventaires prospectifs, établis suivant deux scénarios énergétiques volontairement contrastés. Cet Inventaire recense également les quantités et prévisions de matières radioactives et comprend des informations sur les stockages historiques sur les sites de production, sur les sites pollués et sur les solutions existantes ou en projet en France pour la gestion des déchets radioactifs.

Une synthèse des données de cet Inventaire national est présentée dans les paragraphes suivants.

**R1 – Sur la base des déclarations annuelles des producteurs, l'Andra présente chaque année lors d'une réunion du GT PNGMDR une actualisation des quantités de matières et déchets stockés ou entreposés.**

#### Les déchets radioactifs

Le tableau ci-après récapitule les quantités de déchets radioactifs pour chaque catégorie de déchets à fin 2013 et les prévisions à fin 2020, fin 2030 et à terminaison des installations. Les

prévisions prises en compte pour ces bilans reposent sur l'estimation des déchets produits<sup>12</sup> aux dates considérées par les installations en fonctionnement ou dont la création a été autorisée au 31 décembre 2013, et destinés à être pris en charge dans les centres de stockage de l'Andra. Elles ne tiennent pas compte des déchets « déjà produits » par l'usine de conversion de Malvési dont la filière de gestion à long terme est en cours d'étude (voir chapitre 4.3.5), ni des déchets ayant fait l'objet de modes de gestion « historiques »<sup>13</sup> tels que :

- les résidus de traitement de minerais d'uranium qui sont stockés sur certains anciens sites miniers. L'Inventaire national recense 20 sites de surface sur lesquels sont entreposés sur place et de façon définitive ces résidus ;
- les déchets en « stockage historique sur site » qui ont été stockés par le passé à proximité d'installations nucléaires ou d'usines. Ce sont le plus souvent des buttes ou des remblais ;
- les déchets immergés par la France en Atlantique nord-est en 1967 et 1969 et dans les eaux territoriales de la Polynésie française.

Les quantités de déchets radioactifs sont indiquées en m<sup>3</sup> équivalent conditionné (volume du déchet une fois celui-ci conditionné en colis primaire). Dans ce tableau de synthèse, les chiffres sont arrondis et ne présentent que deux chiffres significatifs sauf éventuellement pour les totaux.

► PRÉVISION DES VOLUMES (m<sup>3</sup>) DE DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2020, À FIN 2030 ET À TERMINAISON SELON LES SCÉNARIOS DES INDUSTRIELS :

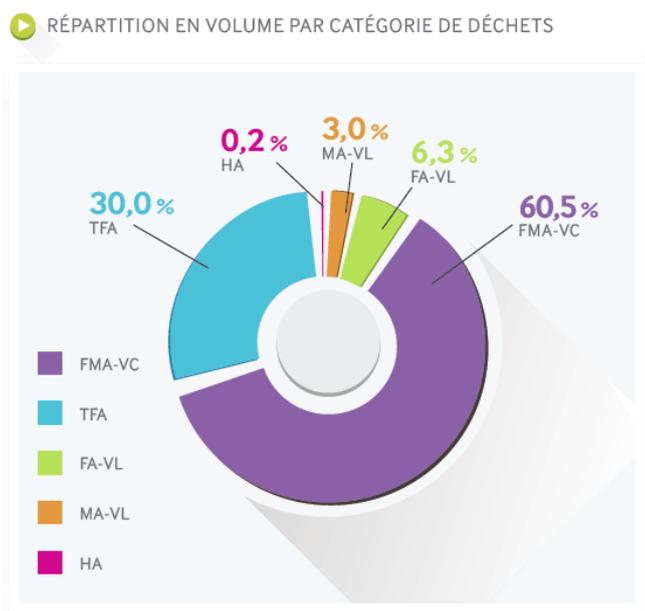
CATÉGORIE	STOCKS À FIN 2013	PRÉVISIONS À FIN 2020	PRÉVISIONS À FIN 2030	PRÉVISIONS À TERMINAISON
HA	3 200	4 100	5 500	10 000
MA-VL	44 000	48 000	53 000	72 000
FA-VL	91 000	92 000	120 000	180 000
FMA-VC	880 000	1 000 000	1 200 000	1 900 000
TFA	440 000	650 000	1 100 000	2 200 000
<b>TOTAL</b>	<b>~ 1 460 000</b>	<b>~ 1 800 000</b>	<b>~ 2 500 000</b>	<b>~ 4 300 000</b>

(Source : Andra)

<sup>12</sup> Il est nécessaire de distinguer « déchets produits » et « déchets stockés ». Les déchets peuvent être produits mais ne pas avoir encore été placés dans un centre de stockage dédié.

<sup>13</sup> Pour plus de précisions sur ces sites, voir l'édition 2015 de l'Inventaire national.

La répartition du volume de déchets radioactifs à fin 2013 par catégorie (hors déchets « historiques » et déchets « déjà produits » de l'usine de conversion de Malvési) est indiquée ci-dessous :



(Source : Andra)

En outre, à fin 2013, 3 800 m<sup>3</sup> de déchets radioactifs ne disposent pas de filière de gestion (existante ou en projet), soit parce qu'ils ne sont pas suffisamment caractérisés, soit parce qu'ils se présentent sous une forme chimique ou physique qui ne permet pas de les associer directement à une filière de gestion. Ils sont ainsi affectés à la catégorie « déchets sans filière » dans l'Inventaire national. Les études en cours pour identifier des filières pour ces déchets sont décrites au chapitre 4.3.1.

Les déchets de haute activité, s'ils ne représentent que 0,2 % du volume total comme indiqué sur la figure ci-avant, contiennent toutefois 98 % de la radioactivité<sup>14</sup> :

Activité en TBq	$\alpha$	$\beta/\gamma$ vie courte	$\beta/\gamma$ vie longue	Activité totale
HA	3 500 000	212 000 000	347 000	~ 220 000 000
MA-VL	44 000	4 300 000	1 100 000	~ 5 500 000
FA-VL	720	16 000	2 800	~ 19 000
FMA-VC	910	27 000	8 300	~ 36 000
TFA	3	4	1	~ 8

En ce qui concerne les prévisions, il faut noter que la déclaration des prévisions de productions de déchets à terminaison de l'exploitation des installations est maintenant requise, contrairement aux précédentes éditions. Ces prévisions ont été établies par les producteurs sur la base de scénarios industriels fondés sur leur vision stratégique à fin 2013.

Ces prévisions à terminaison permettent de confirmer que la saturation du centre de stockage dédié aux déchets TFA devrait intervenir entre 2025 et 2030, en fonction des augmentations de capacité qui pourraient être octroyées à ce centre. Elles mettent par ailleurs en évidence la

<sup>14</sup> La convention pour le calcul de l'activité radiologique a été modifiée par rapport à celle de l'édition 2012 de l'Inventaire national : les radioéléments fils en équilibre séculaire sont dorénavant pris en compte dans les calculs, ce qui permet une comparaison directe avec les activités mesurées.

nécessité d'optimiser la gestion des déchets de catégorie FMA-VC, par exemple en réduisant leur production à la source par une meilleure caractérisation et un meilleur tri ou en améliorant leur conditionnement : en effet, les prévisions actuelles font apparaître qu'en l'absence de tout effort d'optimisation et en supposant le flux de production constant, le volume des déchets FMA-VC atteindra les capacités cumulées des installations de stockages dédiées entre 2040 et 2050.

### Les matières radioactives

Le tableau ci-après présente les quantités de matières radioactives déclarées à fin 2013 ainsi que les prévisions à fin 2020 et fin 2030, exprimées en tonnes de métal lourd (tML) sauf pour les combustibles usés de la Défense nationale.

PRÉVISIONS DES QUANTITÉS DE MATIÈRES RADIOACTIVES (tML) À FIN 2020 ET À FIN 2030 :

CATÉGORIE		STOCKS À FIN 2013	PRÉVISIONS À FIN 2020	PRÉVISIONS À FIN 2030
Uranium naturel	extrait de la mine	26 000 tML	25 000 tML	25 000 tML
	enrichi	2 800 tML	960 tML	960 tML
	appauvri	290 000 tML	330 000 tML	410 000 tML
Uranium issu du traitement des combustibles usés	en sortie de traitement	27 000 tML	34 000 tML	44 000 tML
	enrichi	-	-	-
Combustibles à base d'oxyde d'uranium des réacteurs électrogènes (UOX, URE)	rebuts	-	-	-
	neufs	440 tML	440 tML	440 tML
	en cours d'utilisation	4 600 tML	4 600 tML	3 900 tML
	en attente de traitement	12 000 tML	12 000 tML	13 000 tML
Combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium des réacteurs électrogènes (MOX, SuperPhénix, Phénix)	rebuts	230 tML	240 tML	200 tML
	neufs	38 tML	45 tML	45 tML
	en cours d'utilisation	410 tML	490 tML	390 tML
	en attente de traitement	1 700 tML	2 600 tML	4 000 tML
Combustibles des réacteurs de recherche	neufs	0,2 tML	0,2 tML	0,3 tML
	en cours d'utilisation	0,2 tML	0,1 tML	0,1 tML
	en attente de traitement	75 tML	75 tML	77 tML
Plutonium		52 tML	33 tML	39 tML
Thorium		8 500 tML	8 500 tML	8 400 tML
Matières en suspension		5 tML	3 tML	-
Autres matières		72 tML	72 tML	72 tML
Combustibles de la Défense nationale		156 t	212 t	271 t

(Source : Andra)

### Les inventaires prospectifs

L'Inventaire national donne également une vision prospective des déchets et des matières qui seraient produits par l'ensemble des installations jusqu'à leur fin de vie. Ces quantités sont présentées suivant deux scénarios de politique électronucléaire volontairement contrastés qui ne sauraient préjuger de la politique énergétique française qui serait décidée. L'activité des secteurs économiques autres que l'électronucléaire est supposée identique dans les deux scénarios.

Dans les deux cas, l'inventaire ne porte que sur les déchets produits par les installations qui disposent d'un décret d'autorisation de création à fin 2013, bien que le « scénario de poursuite » sous-entende la mise en service de nouvelles installations.

### Scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire

Ce scénario repose sur deux éléments : la poursuite de la production d'électricité d'origine nucléaire et le maintien de la stratégie actuelle en matière de traitement de combustibles usés. Il considère une durée de fonctionnement moyenne de 50 ans pour l'ensemble des réacteurs, tout en garantissant une capacité totale maximum de production d'électricité d'origine nucléaire de 63,2 GWe. Il suppose que la totalité des combustibles consommés par les réacteurs autorisés à fin 2013 est traitée, dans les usines actuelles ou de futures usines, pour séparer les matières radioactives (uranium, plutonium) des déchets ultimes. Aucun combustible usé n'est alors stocké directement et tout le plutonium extrait des combustibles usés est recyclé, dans le parc actuel ou dans un futur parc, sous forme de combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium.

Compte-tenu du nombre et de l'âge des réacteurs aujourd'hui autorisés à utiliser ce type de combustibles, le parc électronucléaire actuel permettra la valorisation de plutonium séparé jusque vers 2029. Au-delà, le rythme de traitement des combustibles usés et donc de la production de plutonium dépendra directement du rythme du déploiement des nouveaux réacteurs qui le consommeront. Ces combustibles usés (UOx, MOx) produits par le parc existant, jusqu'à sa fin de vie, représenteraient environ 30 000 tML à recycler.

### Scénario 2 : non-renouvellement du parc électronucléaire

Ce scénario suppose le non-renouvellement du parc existant et l'arrêt du traitement du combustible usé avant l'arrêt des réacteurs afin de ne pas détenir de plutonium séparé. Il prend en compte une durée de fonctionnement des réacteurs de 40 ans. Le recyclage du plutonium est limité à la fabrication du combustible MOx nécessaire au fonctionnement des réacteurs aujourd'hui autorisés à utiliser ce type de combustible. Les dates d'arrêt de ces réacteurs permettent de prévoir que la séparation du plutonium par traitement des combustibles usés cessera d'être nécessaire à partir de 2019. Dans ce scénario, environ 28 000 tML de combustibles usés, UOx et MOx, deviennent des déchets et doivent être stockés (dans les mêmes conditions que les déchets HA).

Le tableau ci-après donne l'estimation des déchets produits dans les deux scénarios envisagés.

#### ESTIMATION DES DÉCHETS PRODUITS DANS LES DEUX SCÉNARIOS PROSPECTIFS ENVISAGÉS, À TERMINAISON :

		SCÉNARIO 1	SCÉNARIO 2
HA	Combustibles à base d'oxyde d'uranium des réacteurs électrogènes		~ 50 000 assemblages
	Combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium des réacteurs électrogènes		~ 7 000 assemblages
	Déchets vitrifiés (m <sup>3</sup> )	10 000	3 900
MA-VL (m <sup>3</sup> )		72 000	65 000
FA-VL (m <sup>3</sup> )		180 000	180 000
FMA-VC (m <sup>3</sup> )		1 900 000	1 800 000
TFA (m <sup>3</sup> )		2 200 000	2 100 000

(Source : Andra)

Les combustibles usés ne sont pas aujourd'hui considérés comme des déchets radioactifs et ne sont donc pas conditionnés pour une prise en charge en stockage. Le volume moyen d'un assemblage combustible étant d'environ 0,2 m<sup>3</sup>, ces assemblages non conditionnés représentent un volume global d'environ 12 000 m<sup>3</sup>. L'Andra a étudié la faisabilité du stockage des combustibles usés en 2012 et les concepts de conteneurs de stockage utilisés pour cette démonstration induisaient un volume de colis de stockage d'environ 89 000 m<sup>3</sup> (environ 8 fois plus que le volume non conditionné). Une mise à jour de cette étude a été demandée par le PNGMDR 2013-2015 et devrait être communiquée par l'Andra en 2016.

## ***1.2 Les principes à prendre en compte pour définir les filières de gestion de déchets radioactifs***

La classification usuelle des déchets radioactifs, tenant compte du niveau d'activité des substances radioactives et de leur période, offre une lecture simple pour l'orientation des déchets radioactifs et l'identification de filières. Elle ne prend toutefois pas en compte certains degrés de complexité qui conduisent à retenir une filière de gestion différente de la catégorie à laquelle le déchet est assimilé. D'autres critères, tels que la stabilité, la présence de substances chimiques toxiques, ou même l'attractivité potentielle (pour les sources scellées usagées notamment) du déchet doivent être pris en compte.

Par ailleurs, la définition d'un mode de gestion doit tenir compte des principes et orientations définis au chapitre I du titre IV du livre V du code de l'environnement, dont notamment la nécessité de réduire le volume et la nocivité des déchets radioactifs ultimes. De plus, l'optimisation des opérations de traitement des déchets, l'optimisation des doses reçues par les personnes exposées et la réduction de l'impact sur les populations doivent être recherchés.

La gestion des déchets radioactifs s'inscrit dans le cadre général défini aux chapitres I et II du titre IV du livre V du code de l'environnement. Ainsi, les déchets radioactifs doivent être gérés, autant que raisonnablement possible, en appliquant les objectifs suivants :

- en priorité, prévenir et réduire la production et la nocivité des déchets radioactifs, notamment en agissant sur la conception et les modalités d'exploitation des installations nucléaires. Ainsi les procédés mis en œuvre doivent faire l'objet d'études d'optimisation, lors de l'ensemble des phases de vie des installations (conception, fonctionnement et démantèlement) visant à minimiser leurs impacts sur l'environnement ;
- pour les déchets radioactifs produits, mettre en œuvre une hiérarchie des modes de gestion consistant à privilégier dans l'ordre : le tri en vue de la réutilisation, le recyclage, la valorisation et dans un dernier temps le stockage des déchets ultimes. En préalable à leur stockage, un traitement et un conditionnement adaptés doivent permettre d'extraire une éventuelle part valorisable et de réduire leur quantité et leur nocivité. Réserver le stockage aux seuls déchets ultimes permet de limiter les quantités de déchets destinés à ces installations qui disposent de capacités limitées qu'ils convient donc d'utiliser au mieux ;
- tout producteur de déchets radioactifs est responsable d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion. À ce titre, il doit notamment définir une filière de gestion pour l'ensemble des types de déchets radioactifs qu'il produit.

### 1.2.1 Prévention, réduction de la production et de la nocivité des déchets et prise en compte des filières de gestion dès la conception des installations

La quantité et la nocivité des déchets qui seront produits par le fonctionnement puis le démantèlement des installations nucléaires doivent être limitées le plus possible. À cet égard, des dispositions de conception et d'organisation doivent être prévues et mises en place. Celles-ci comprennent notamment :

- l'étude des mécanismes de dissémination de substances radioactives ou d'activation des structures puis l'optimisation des zonages déchets qui en découlent dans la conception des installations en vue de limiter l'étendue des zones où les déchets produits seront contaminés, activés ou susceptibles de l'être. Ce zonage doit être mis à jour régulièrement et notamment à l'occasion du début des opérations de démantèlement en vue de limiter la production de déchets radioactifs ;
- la mise en œuvre d'une démarche de propreté radiologique dans les installations ;
- la mise en place de mesures organisationnelles afin de limiter le plus possible les matériels (équipements, outils, tenues, vinyles, ...) utilisées dans les zones où ceux-ci pourraient être contaminés ou activés ;
- le choix réfléchi des matériaux utilisés dans les installations en veillant à ce que leurs propriétés, notamment chimiques, soient connues, adaptées aux phénomènes auxquels ils sont susceptibles d'être soumis et compatibles avec les filières de gestion de déchets radioactifs existantes ou à venir. Cela permet, d'une part, que des filières de gestion soient disponibles le moment voulu et que, d'autre part, le volume et la nocivité des déchets produits soient limités autant que possible, le cas échéant après traitement. À cet égard, la sélection des matériaux vise à :
  - o limiter l'activation, y compris des éventuelles impuretés présentes dans les matériaux, tout particulièrement lorsque les produits d'activation sont à vie longue ;
  - o limiter la présence de toxiques chimiques, d'isolants fibreux, d'espèces complexantes ou d'éléments pyrophoriques dans les déchets ;
  - o faciliter la décontamination des surfaces ;
- la sélection des équipements utilisés dans les installations de manière à limiter la quantité de déchets produits lors des opérations de maintenance.

Dans son avis du 20 juillet 2016<sup>15</sup> sur le projet de PNGMDR 2016-2018, l'Autorité environnementale a recommandé que la notion de nocivité applicable aux matières et déchets radioactifs soit définie plus précisément. L'Autorité environnementale recommande également que soient décrits l'écotoxicité des substances et leur impact sur la santé humaine, en lien avec l'évolution de leur activité et de leur composition dans le temps.

**R2 – L'IRSN remet, avant le 31 décembre 2017, un rapport sur la méthodologie et les critères envisageables pour apprécier la nocivité des matières et des déchets radioactifs. Ce rapport intègre des considérations sur l'évolution des caractéristiques des matières et des déchets radioactifs à court, moyen et long terme, leur écotoxicité et l'impact associé aux modalités de gestion envisagées dans le PNGMDR.**

---

<sup>15</sup> Cet avis (n° Ae : 2016-036) est disponible sur le site internet du conseil général de l'environnement et du développement durable : <http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr>.

### 1.2.2 Filières de valorisation

La mise en place de filières de valorisation doit être favorisée en vue de respecter la hiérarchie des modes de gestion mais est, du fait des particularités des substances radioactives, particulièrement encadrée.

Ainsi, le recyclage des déchets radioactifs provenant des activités nucléaires est contraint, d'une part, par l'approche géographique liée au principe du zonage déchets et à l'absence de seuil de libération (voir paragraphe 1.1.1) et, d'autre part, par une limitation des possibilités de réutilisation fixée par l'article R. 1333-3 du code de la santé publique. Cet article interdit en effet l'utilisation, pour la fabrication des biens de consommation et des produits de construction, des matériaux et des déchets provenant d'une activité nucléaire, lorsque ceux-ci sont contaminés ou susceptibles de l'être par des radionucléides, y compris par activation, du fait de cette activité. Une dérogation à cette interdiction est toutefois possible, dans les conditions fixées par l'arrêté du 5 mai 2009 fixant la composition du dossier et les modalités d'information des consommateurs prévues à l'article R. 1333-5 du code de la santé publique.

Les filières de valorisation mises en place en France dans les dernières années étaient restreintes à une utilisation des substances recyclées au sein d'installations nucléaires. Dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, outre les études remises respectivement par Areva, EDF, CEA et, par l'Andra, les conditions de valorisation des matériaux de très faible activité ont également été examinées au sein d'un groupe de travail pluraliste. Les résultats de l'ensemble de ces travaux ont été publiés sur les sites internet de l'ASN<sup>16</sup> et du ministère chargé de l'énergie<sup>17</sup> et sont présentés au chapitre 3.5.

### 1.2.3 Définition d'une filière de gestion pour les déchets radioactifs ultimes

#### *Définitions*

Une **filière de gestion** des déchets radioactifs désigne l'ensemble des opérations réalisées sur les déchets radioactifs qui concourent, de leur production à leur stockage, à leur mise en sécurité définitive. Elle est adaptée à certains types de déchets radioactifs.

Les opérations successives réalisées dans une filière de gestion des déchets radioactifs comprennent :

- leur collecte, caractérisation et tri à la source ;
- leur traitement et leur conditionnement ;
- leur entreposage ;
- leur stockage.

À ces opérations s'ajoutent les transports, internes à un site ou entre deux sites distincts. Par ailleurs, il faut garder à l'esprit que ces opérations peuvent être répétées, par exemple si plusieurs étapes de conditionnement réalisées dans des installations différentes sont nécessaires.

---

<sup>16</sup> <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015>.

<sup>17</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

Chacune des étapes d'une filière de gestion doit être réalisée de manière sûre et chaque exploitant intervenant dans celle-ci est responsable de la sûreté des installations qu'il exploite et des activités qu'il exerce. Pour autant, il est indispensable de prendre en compte le fait que l'ensemble des opérations d'une filière sont étroitement liées : ainsi, chacune de ces opérations doit être prévue et réalisée de manière à être compatible avec les suivantes et à permettre une optimisation d'ensemble.

La **collecte à la source** des déchets radioactifs vise à assurer une prise en compte exhaustive de tous les déchets radioactifs produits. À ce titre, la politique en vigueur en matière de gestion des déchets, prévoit l'élaboration par les producteurs de déchets relevant du régime INB, ICPE ou d'une activité nucléaire visée à l'article L. 1333-1 du code de la santé publique, d'une étude sur la gestion des déchets qui doit notamment présenter et justifier les modalités relatives à l'établissement et à la gestion d'un zonage déchets distinguant les zones dans lesquelles les déchets produits sont contaminés, activés ou susceptibles de l'être.

Le **tri à la source** des déchets radioactifs consiste à séparer les déchets en prenant en compte leur nature physico-chimique (solides, liquides, solvants, etc.), leurs caractéristiques radiologiques et les risques spécifiques autres que radiologique qu'ils peuvent présenter (risque infectieux, etc.). Ce tri doit permettre de prévenir tout mélange entre catégories de déchets (c'est-à-dire entre déchets qui ne relèvent pas d'une même filière) ou entre substances incompatibles.

La **caractérisation** des déchets consiste à mesurer et identifier les caractéristiques radiologiques, chimiques, biologiques et physiques du déchet afin de pouvoir vérifier la compatibilité des déchets aux étapes ultérieures prévues pour sa gestion.

Le **traitement** des déchets radioactifs consiste à transformer le déchet initial pour lui donner des caractéristiques plus appropriées (notamment en termes de volumes ou de caractéristiques physico-chimiques) pour sa gestion ultérieure. Le traitement peut également permettre d'extraire une éventuelle part valorisable. À titre d'exemple, on peut citer : l'incinération, l'évaporation, le compactage et la fusion.

Le **conditionnement** est l'ensemble des opérations réalisées en vue de produire un colis<sup>18</sup> de déchets radioactifs. Ces opérations peuvent notamment consister en l'introduction dans un conteneur, l'immobilisation, le traitement physico-chimique ou l'enrobage de déchets radioactifs. Les conteneurs dans lesquels sont placés les déchets radioactifs sont généralement en béton, en acier non allié (acier ordinaire) ou en acier allié (acier inoxydable) et, en tout état de cause, adaptés aux installations auxquelles ils sont destinés et au niveau de radioactivité, aux propriétés physico-chimiques et à la durée de vie des déchets qu'ils contiennent.

L'**entreposage** consiste à placer les déchets radioactifs à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, avec l'intention de les retirer ultérieurement.

---

<sup>18</sup> Système comprenant des déchets radioactifs sous forme solide qui présente des caractéristiques et des propriétés physiques, chimiques, mécaniques et radiologiques permettant sa gestion dans le respect des exigences de sûreté de l'installation où il est manipulé et qui sont, par ailleurs, compatibles avec les conditions prévues pour sa gestion ultérieure y compris sa manutention, son transport, son entreposage et son stockage, le cas échéant après modifications, surcolisage ou utilisation d'un emballage adapté.

Le **stockage** consiste à placer les déchets radioactifs dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive, sans intention de les retirer ultérieurement.

*Paramètres à prendre en compte dans la définition de filières de gestion adaptées à la nature et à la diversité des déchets*

Plusieurs paramètres doivent être pris en compte pour la définition d'un mode de gestion des déchets. Les principaux paramètres sont les suivants.

### Les principes de gestion

La définition des modes de gestion des déchets radioactifs doit se faire dans le respect des principes prévus dans le code de l'environnement (chapitres I et II du titre IV de son livre V) et dans la directive 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 :

- protéger la santé des personnes, la sécurité et l'environnement ;
- prévenir et limiter les charges qui seront supportées par les générations futures ;
- réduire la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs, notamment par des modes de traitement et de conditionnement adaptés ;
- organiser le transport des déchets et le limiter en distance et en volume ;
- assurer l'information du public sur les effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et de gestion des déchets, sous réserve des règles de confidentialité prévues par la loi, ainsi que sur les mesures destinées à en prévenir ou à en compenser les effets préjudiciables.

Cette définition d'une filière de gestion doit être réalisée dans le cadre d'une approche graduée vis-à-vis du risque et des impacts au regard des coûts (financiers, humains, environnementaux, etc.) et des bénéfices attendus de la mise en place d'une solution de gestion.

La protection de la santé des personnes comprend à la fois celle des salariés et des populations. Elle s'appuie notamment sur l'application des principes de la protection contre les rayonnements ionisants inscrits au code de la santé publique : la justification des activités (technique, économique et éthique), la limitation des conséquences (doses) et l'optimisation de la protection (doses). L'efficacité de la démarche d'optimisation repose sur la diffusion générale de la culture du risque radiologique.

### Les impacts sanitaires et environnementaux induits par les déchets radioactifs produits

Dans le respect des principes mentionnés au point précédent, la filière de gestion retenue ou envisagée doit être adaptée aux dangers présentés pour les intérêts mentionnés au livre V du code de l'environnement (sécurité, santé, salubrité publiques ou protection de la nature et de l'environnement).

La classification des déchets radioactifs présentée au paragraphe 1.1.3, qui repose sur le niveau d'activité et la période des radionucléides contenus dans les déchets, donne une idée de la nocivité des déchets radioactifs et de la décroissance de celle-ci dans le temps. Cela permet une lecture simple pour l'orientation des différentes catégories de déchets (VTC, TFA, FMA-VC, FA-VL et HA et MA-VL) et l'identification des filières disponibles, dont les solutions de gestion doivent

être adaptées aux dangers présentés pour chacune de ces catégories. Cette classification ne rend cependant pas compte de certains degrés de complexité. Par exemple, les déchets de fonctionnement produits par l'industrie nucléaire, s'ils contiennent généralement en très grande majorité des radionucléides à vie courte, contiennent aussi souvent des traces de radionucléides à vie longue qui doivent être pris en compte dans l'analyse de sûreté d'un stockage. De même, la différenciation entre déchets de faible et de plus haute activité, basée sur l'impact radiologique immédiat en cas d'utilisation banalisée, est simplificatrice du point de vue des filières de gestion à long terme pour lesquelles bien d'autres paramètres doivent être pris en compte, comme la toxicité et la réactivité chimiques. Par ailleurs, un déchet peut relever d'une catégorie définie mais peut ne pas être accepté dans la filière de gestion correspondante du fait d'autres caractéristiques (stabilité, présence de certains éléments chimiques). Il est alors nécessaire de prendre en compte ces critères additionnels pour définir une filière de gestion adaptée.

Pour certaines situations historiques de stockage des déchets, qui sont développées au paragraphe 3.1.3, l'analyse (dans les conditions technico-économiques actuelles) de la nature, du volume et des impacts sanitaires et environnementaux induits par les déchets radioactifs présents sur un site par rapport aux coûts, aux risques et aux impacts sanitaires et environnementaux attendus par leur reprise et leur déplacement dans les centres de stockage existants peut conduire les exploitants à privilégier la poursuite d'une gestion sur site.

#### La gestion des interdépendances et le respect des critères d'acceptation dans les installations

Les critères d'acceptation des déchets radioactifs dans les diverses installations concourant à la gestion des déchets sont précis, ce qui nécessite notamment des opérations de caractérisation et de conditionnement des déchets. Par ailleurs, ces critères limitent ou interdisent la présence de certains matériaux dans les colis de déchets.

S'agissant des opérations de caractérisation, une bonne connaissance du contenu radiologique et physico-chimique des déchets permet d'optimiser son conditionnement et sa filière de gestion ainsi que de contribuer à la sûreté des opérations ultérieures de gestion.

S'agissant des opérations de conditionnement, la fabrication d'un colis de déchet vise en général à confiner les déchets sous une forme stable, solide, monolithique<sup>19</sup>. Un traitement avant conditionnement est également parfois nécessaire pour assurer une compatibilité, notamment physico-chimique, entre le déchet et la matrice ou le système d'immobilisation retenu pour la constitution du colis. Les principales matrices utilisées de façon industrielle et mises en œuvre depuis de nombreuses années sont notamment le verre et le ciment. Les études qui seront menées dans les prochaines années viseront à rendre ces procédés plus performants soit en augmentant leurs capacités de production, soit en étendant leurs domaines d'application à des déchets différents, soit pour développer de nouvelles matrices dans l'objectif d'optimiser les propriétés confinantes de certains colis. Les opérations de conditionnement peuvent impliquer des transformations difficilement réversibles des déchets radioactifs. Il convient donc de s'assurer, au préalable de leur réalisation, de leur compatibilité avec les étapes suivantes de la filière de gestion.

---

<sup>19</sup> Si le colis ne garantit pas à lui seul une sûreté intrinsèque suffisante, il est stocké au sein d'un ouvrage dont les vides sont remplis par du béton.

L'optimisation d'une filière nécessite également le respect d'une démarche de sûreté afin que le stockage assure sa fonction de confinement jusqu'à ce que la radioactivité des radionucléides contenue dans les déchets ait suffisamment décru. L'impact radiologique induit par la solution de gestion retenue doit être aussi faible que raisonnablement atteignable (principe ALARA).

#### La nécessité d'adéquation pérenne entre besoins et moyens

La capacité et la disponibilité des filières de gestion à long terme par rapport aux besoins globaux doivent être suivies et anticipées pour éviter que la production de déchets n'induisse des besoins qui seraient supérieurs aux capacités disponibles et autorisées ou en projet.

La définition par les producteurs de déchets d'une stratégie de gestion de leurs déchets à moyen et long terme apparaît à ce titre un outil indispensable, pour leur permettre, individuellement, ou en lien avec d'autres producteurs, de disposer des solutions à chacune des étapes de gestion des déchets et d'anticiper afin de se doter des moyens (installations d'entreposage, de traitement et de conditionnement, emballages de transport...) nécessaires à une gestion optimisée. Ces stratégies sont examinées régulièrement par les autorités de sûreté.

S'agissant des déchets qui pourraient être issus de l'exploitation de futures installations nucléaires ou d'installations nucléaires de type nouveau, tels que par exemple les déchets qui seraient issus de l'éventuelle exploitation d'un parc de réacteurs à neutrons rapides ou utilisant la fusion nucléaire, leur gestion devra être examinée au regard des filières existantes afin de montrer leur compatibilité ou de définir les évolutions nécessaires des filières, voire la création de nouvelles filières (compatibilité avec les spécifications d'acceptation du stockage, conséquences sur l'emprise du stockage, etc.).

#### L'utilisation des meilleures techniques disponibles, la réduction des impacts, l'optimisation entre rejets et déchets

Au titre du code de l'environnement, les exploitants doivent appliquer les meilleures techniques disponibles et viser à limiter autant que possible dans des conditions technico-économiques acceptables, et en toute sécurité, les rejets. Ces dispositions s'inscrivent dans le cadre de l'objectif défini par la déclaration ministérielle de Sintra de 1998 (Convention Oskar) qui précise, pour 2020, qu'il s'agit de parvenir à des teneurs dans l'environnement proches des teneurs ambiantes dans le cas de substances présentes à l'état naturel, et proches de zéro dans le cas de substances artificielles, ceci au moyen de réductions progressives et substantielles des rejets, émissions ou pertes radioactives en tenant compte de la faisabilité technique et de l'impact sur l'homme et le milieu ambiant.

La limitation des rejets des installations s'opère par la récupération des radionucléides ou des autres substances chimiques dans les effluents et par la concentration et le confinement des déchets. Dans certains cas, l'impact d'un rejet est inférieur aux impacts de la gestion en tant que déchets. Le point de jonction, est déterminé, au cas par cas, par un processus d'optimisation multicritère qui intègre entre autres, les analyses des cycles de vie des produits et services, la sûreté nucléaire et la radioprotection, et évolue, à production constante, à la baisse au fur et à mesure du développement des techniques. Une exigence liée au processus d'optimisation est imposée par la réglementation en vigueur.

Par ailleurs, les exploitants d'installations nucléaires doivent expliciter dans les études déchets (faisant l'objet de mises à jour périodiques) les choix entre les opérations de traitement des déchets et les rejets (décontamination des déchets solides produisant des effluents liquides, traitement des effluents liquides produisant des déchets solides...) et leurs modalités de confinement, bénéficiant des meilleures techniques disponibles. Ces opérations de traitement ont pour premiers objectifs de réduire la quantité et la nocivité des déchets, ainsi que de mener à un mode de gestion optimisé. Une description du traitement des effluents liquides et gazeux et de l'impact de ces traitements sur la production de déchets y est présentée, la relation entre les quantités et qualités de déchets produits ainsi que les quantités et qualités des effluents liquides et gazeux rejetés y est explicitée. Cette étude doit témoigner d'une réflexion globale sur la gestion des effluents et des déchets.

La prise en compte de l'impact d'une installation nucléaire de base est intégrée dans le cadre du régime des INB qui couvre à la fois les risques d'accidents, les rejets chroniques, la production de déchets ou les autres nuisances. Il en est de même pour une installation relevant du régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Une étude d'impact est notamment systématiquement exigée pour toute activité conduisant à des rejets dans l'environnement. Cette analyse doit permettre de garantir que les rejets des installations nucléaires ne portent pas atteinte aux intérêts protégés par l'article L. 593-1 du code de l'environnement. Afin de limiter l'impact sur l'environnement, il est systématiquement demandé aux exploitants de proposer et mettre en œuvre des techniques pour réduire les rejets liés à ces activités autant que le permettent les techniques disponibles dans des conditions économiques acceptables. Les rejets font l'objet de prescriptions, fixées par décision de l'ASN pour les INB, par arrêté ministériel pour les INBS ou par arrêté préfectoral pour les ICPE. Ces prescriptions limitent strictement les rejets pour un certain nombre de substances et réglementent en détail les moyens de traitement, d'épuration et de contrôle pour les effluents issus des activités nucléaires et des activités industrielles. Les rejets autorisés des installations nucléaires respectent des limites telles que l'exposition en résultant reste faible par rapport à l'exposition naturelle pour les populations et l'environnement.

Au niveau national ou territorial, certains sujets font aussi l'objet d'une planification spécialisée par exemple avec les schémas d'aménagement et de gestion des eaux pour les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents liquides, ou avec le PNGMDR pour les déchets radioactifs. À ce titre, le présent Plan porte sur les déchets et la gestion des matières radioactives et ne couvre pas les rejets d'effluents.

Rejets et déchets – position exprimée par l'ASN et la DGEC

L'ASN et le Ministère chargé de l'environnement et de l'énergie soulignent qu'il existe bien des liens entre la production de déchets et les rejets et que les régimes juridiques encadrant les activités nucléaires ont notamment pour objectif de permettre une prise en compte intégrée de l'impact de ces activités.

Les installations nucléaires de base et les ICPE ne sont autorisées qu'après une enquête publique portant notamment sur une étude d'impact couvrant, entre autres, à la fois les rejets et les déchets. Les rejets eux-mêmes sont encadrés par des prescriptions fixées par les ministres ou le préfet, selon l'installation, après examen par le Conseil départemental de l'environnement et des risques technologiques (CODERST) et, pour une INB et INBS, par la commission locale d'information.

Le rapport annuel de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection présente chaque année des données sur la production de déchets et les rejets d'effluents. En outre, pour chaque INB, les niveaux de rejet doivent figurer notamment dans les rapports annuels d'information du public établis par l'exploitant, en application de l'article L.125-15 du code de l'environnement, rendus publics et présentés aux commissions locales d'information ; ces rapports sont disponibles sur les sites internet des exploitants d'INB. Les informations sur les rejets sont en outre communicables à qui en fait la demande, en application de l'article L. 125-10 du code de l'environnement. Pour les INBS, un rapport annuel de la sûreté nucléaire du site, des risques d'origine radiologique et des rejets produits par l'installation, ainsi que des mesures prises pour en réduire les impacts est présenté aux comités locaux d'information conformément aux dispositions de l'article R. 1333-39 du code de la défense, dans le respect des exigences liées à la défense nationale.

En complément des régimes intégrés de contrôle de l'impact des installations et activités, il existe aussi des dispositifs de planification spécialisés, par exemple en matière de gestion des déchets avec le PNGMDR. Pour être facilement lisibles, les documents concrétisant les résultats de ces planifications ne doivent pas sortir du cadre qui leur a été fixé ; ainsi, la présentation de la gestion et des niveaux de rejet ne relèvent pas des dispositions de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement qui fixe le contenu du PNGMDR et elle serait donc susceptible de nuire à la lisibilité du plan. Par ailleurs, les dispositions de l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement excluent explicitement les rejets autorisés du champ d'application du cadre de gestion des matières et des déchets radioactifs.

Rejets et déchets – position exprimée par l'ACRO, soutenue par FNE, ANCCLI, Robin des Bois et Greenpeace

Au cours des discussions qui ont eu lieu lors de l'élaboration du PNGMDR 2016-2018, l'ACRO a réitéré son point de vue déjà exprimé dans l'édition 2013-2015 concernant la prise en compte des rejets d'effluents au sein de ce document. Ce point de vue était également soutenu par FNE, ANCCLI, Robin des Bois et Greenpeace dans la précédente édition du Plan.

« Certes, le cadre réglementaire associé aux déchets et aux rejets est distinct mais ces deux volets sont indissociables car les rejets radioactifs peuvent fréquemment résulter d'un choix de traiter par la "libération" des déchets radioactifs. Dit plus prosaïquement, c'est un "problème de vases communicants".

Il existe en fait des solutions techniques de rétention de la quasi-totalité des radionucléides (à commencer par l'iode 129, le carbone 14 mais aussi pour le tritium, le krypton 85...) mais, pour des raisons technico-économiques, ces techniques ne sont pas mises en œuvre. L'exemple le plus frappant est sans doute celui de l'iode 129, presque entièrement rejeté en mer, alors que des moyens de rétention, développés par la France, existent et ont été mis en œuvre au Japon sur certaines installations dès les années 1970. De même, l'ACRO considère que le carbone 14 est rejeté en totalité comme effluent dans notre pays mais il est retenu par précipitation chimique dans d'autres pays et ainsi géré en déchets.

Si l'ajout de radioéléments artificiels dans les biens de consommation et l'alimentation est interdit, il est autorisé dans l'environnement. Cette situation est pour le moins paradoxale. Aussi, si demain, de façon volontaire ou contrainte par les pouvoirs publics, les industriels changeaient leur stratégie de gestion des effluents radioactifs, une partie de ceux-ci apparaîtraient alors en tant que déchets.

Pour l'ACRO, on ne peut donc occulter cette dimension des rejets qui constitue de facto une banalisation de déchets radioactifs appelée pudiquement "libération" dans les textes internationaux.

Afin de compléter l'information des lecteurs mais aussi dans un souci d'adopter une approche réellement globale de la problématique déchets, notre association aurait donc souhaité qu'apparaisse un sous-chapitre sur les rejets d'effluents - mentionnant ces niveaux de rejets - au sein du PNGMDR 2016-2018. »

### **1.3 Le cadre juridique et institutionnel de la gestion des déchets**

Au niveau européen, la directive 2011/70/Euratom du Conseil établit un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs.

Le cadre national de la gestion des matières et des déchets radioactifs est défini par le code de l'environnement et la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Il traite de la définition d'une politique de gestion des matières et déchets radioactifs, de l'amélioration de la transparence et du contrôle démocratique ainsi que du financement et de l'accompagnement économique. Il spécifie que la gestion des matières et déchets radioactifs doit respecter les principes fondamentaux suivants : protection de la santé des personnes et de l'environnement ; prévention ou limitation des charges qui seront supportées par les générations futures ; principe « pollueur-payeur » qui prévaut en droit de l'environnement.

Le PNGMDR organise la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et des déchets selon les trois orientations :

- la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets, notamment par le traitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs ;
- l'entreposage comme étape préalable, notamment dans la perspective d'opérations de traitement des combustibles et des déchets, ou de stockage des déchets ;
- après entreposage, le stockage profond comme solution pérenne pour les déchets ultimes ne pouvant être stockés en surface ou en faible profondeur pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection.

Dans le domaine de la transparence et du contrôle démocratique, le code de l'environnement confirme notamment le rôle de la Commission nationale d'évaluation, chargée d'évaluer les recherches sur la gestion des matières et des déchets radioactifs. Il prévoit également l'organisation régulière de débats par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.

#### **1.3.1 Les accords internationaux**

Une Convention commune sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs a été établie dans le cadre de l'AIEA et a été approuvée par la France le 22 février 2000<sup>20</sup>. Cette convention engage les 69 États contractants à se doter d'un système de gestion sûr et durable des déchets radioactifs et du combustible usé. Des revues par les pairs sont organisées tous les trois ans sur la base d'un rapport de conformité réalisé par chaque État membre<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> Elle est entrée en vigueur le 18 juin 2001.

<sup>21</sup> Le 5<sup>e</sup> rapport français établi pour la convention de 2015 est disponible sur le site internet de l'ASN : <http://www.asn.fr>, en suivant l'arborescence suivante : Accueil > L'ASN > International > Les textes de référence internationaux > Les conventions internationales > La Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé.

Des accords bilatéraux peuvent également être signés en application de l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement, pour encadrer les modalités d'importation temporaire à des fins de traitement des déchets radioactifs ou des combustibles usés produits à l'étranger. Les accords conclus par la France en matière de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs sont présentés en annexe 4.

#### Information sur les matières et déchets en provenance de l'étranger

En application de l'article L. 542-1-2, les exploitants d'installations de traitement et de recherche établissent, tiennent à jour et mettent à la disposition des autorités de contrôle les informations relatives aux opérations portant sur les déchets radioactifs et les combustibles usés en provenance de l'étranger ainsi que sur les substances radioactives importées à des fins de recherche. Ils remettent chaque année au ministre chargé de l'énergie un rapport comportant l'inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que des matières et des déchets radioactifs, qui en sont issus après retraitement ou traitement ou qui sont issus des opérations de recherche, qu'ils détiennent, et leurs prévisions relatives aux opérations de cette nature. Areva<sup>22</sup> et le CEA<sup>23</sup> réalisent et rendent publics annuellement ces rapports.

### **1.3.2 Le cadre européen**

De manière complémentaire aux dispositions législatives qui étaient déjà présentes en France et dans d'autres pays de l'Union européenne, la directive 2011/70/Euratom établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs a été adoptée le 19 juillet 2011 par le Conseil de l'Union européenne afin de doter les États membres d'un cadre réglementaire harmonisé.

Cette directive définit un cadre contraignant et impose que les États membres se dotent d'une politique nationale de gestion du combustible usé et des déchets, basée notamment sur les principes suivants :

- pollueur-payeur, avec une responsabilité en dernier ressort de l'État membre pour les déchets radioactifs produits sur son territoire,
- minimisation du volume et de la nocivité des déchets radioactifs produits,
- protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement,
- stockage des déchets dans le pays où ils ont été produits, sauf en cas d'accord bilatéral défini suivant les conditions de la directive.

La directive impose également l'établissement d'un cadre législatif et d'un programme national pour mettre en œuvre, selon une approche graduée aux niveaux de risque, une politique de gestion des déchets et du combustible usé. Ce programme, fondé sur un inventaire national, doit porter sur l'ensemble des déchets, depuis leur production jusqu'à leur gestion à long terme et être périodiquement révisé et notifié à la Commission européenne.

---

<sup>22</sup> Cf. Rapport Areva sur le site internet de l'entreprise : [www.aveva.com/FR/activites-1221/diffusion-de-l-information-aveva-la-hague.html](http://www.aveva.com/FR/activites-1221/diffusion-de-l-information-aveva-la-hague.html)

<sup>23</sup> Cf. Rapport CEA sur le site internet de l'établissement : [www.cea.fr/multimedia/Pages/editions/institutionnel/inventaire-combustibles-uses-et-dechets-radioactifs-etrangers-rapport2016.aspx](http://www.cea.fr/multimedia/Pages/editions/institutionnel/inventaire-combustibles-uses-et-dechets-radioactifs-etrangers-rapport2016.aspx)

La directive oblige par ailleurs la mise en place dans chaque État membre d'une autorité de réglementation compétente dans le domaine de la sûreté de la gestion des déchets radioactifs et des combustibles usés, dotée des moyens financiers et humains nécessaires à l'accomplissement de ses missions. Elle fixe des exigences en matière de sûreté et demande la mise en place d'un système d'autorisation pour les installations de gestion des déchets et du combustible usé. Elle oblige également les détenteurs d'autorisations à consacrer à la gestion des déchets des moyens financiers et humains suffisants.

La directive prescrit en outre que les informations nécessaires relatives à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs soient mises à la disposition du public.

Enfin, la directive impose des autoévaluations régulières du cadre national, des autorités de réglementation compétentes, ainsi que du programme national et de sa mise en œuvre, complétées par une évaluation internationale par des pairs.

Cette directive constitue un élément important qui contribue au renforcement de la sûreté nucléaire au sein de l'Union européenne tout en responsabilisant les États membres dans la gestion de leurs déchets radioactifs et combustibles usés.

Elle forme un corpus cohérent avec :

- la directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de bases relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants qui demande notamment que les États membres veillent à ce que l'élimination, le recyclage ou la réutilisation de matières radioactives issues d'une pratique autorisée soient soumis à autorisation,
- la directive 2009/71/Euratom du Conseil du 25 juin 2009 modifiée établissant un cadre communautaire pour la sûreté nucléaire des installations nucléaires.

### **1.3.3 Le cadre législatif en France**

Les objectifs fixés par la directive 2011/70/Euratom du Conseil présentés au paragraphe précédent sont transcrits dans le droit français.

Le chapitre II du titre IV du livre V du code de l'environnement et la loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (loi n° 2006-739 du 28 juin 2006)

La gestion des déchets radioactifs est encadrée en France par la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, ainsi que ses décrets d'application. Cette loi a complété les dispositions de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991. Elle est maintenant, à l'exception de ses articles 3 et 4, codifiée au chapitre II du titre IV du livre V du code de l'environnement

Le code de l'environnement édicte les principes suivants concernant la problématique des déchets radioactifs :

- leur gestion doit être assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement,

- la recherche et la mise en œuvre de solutions pour leur gestion ne doit pas être différée, afin de prévenir et de limiter les charges qui seront supportées par les générations futures,
- la responsabilité de la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé incombe en premier lieu à leurs producteurs.

Il impose, selon le calendrier fixé par la loi du 28 juin 2006, la poursuite de la politique de recherche notamment pour la gestion des déchets radioactifs à vie longue de haute ou de moyenne activité dans le respect des principes susmentionnés, selon trois axes de recherche complémentaires suivants :

- réduire le volume et la nocivité des déchets par la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue. Un bilan des recherches menées suivant cet axe est détaillé au chapitre 4.2.3 de ce Plan ;
- mettre en sécurité définitive les déchets par le stockage réversible en couche géologique profonde. La loi demande à l'Andra de poursuivre les études et recherches réalisées dans le cadre de la loi de 1991 et impose désormais que le concept développé par l'Andra soit réversible. La loi a par ailleurs fixé des jalons pour les étapes structurantes du processus d'autorisation d'une installation permettant ce stockage ;
- assurer la sûreté de l'entreposage des déchets dans l'attente d'une solution définitive. La loi prévoit que des études et recherches soient menées par l'Andra en vue, au plus tard en 2015, de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes, pour répondre aux besoins, notamment en termes de capacité et de durée, recensés par le PNGMDR.

Par ailleurs, il demande le conditionnement avant 2030 des déchets produits avant 2015 qui ne seraient pas conditionnés.

Le code de l'environnement fixe le cadre de la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs :

- en définissant les orientations de gestion<sup>24</sup> pour l'ensemble des matières et déchets radioactifs, à savoir :
  - la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs, notamment par le traitement des combustibles usés et le conditionnement des déchets radioactifs ;
  - l'entreposage dans des installations spécialement aménagées des matières radioactives en attente de traitement et des déchets radioactifs ultimes en attente d'un stockage ;
  - après l'entreposage, le stockage en couche géologique profonde comme solution pérenne pour les déchets radioactifs ultimes ne pouvant être stockés en surface ou en faible profondeur, pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection.
- en imposant l'adoption tous les trois ans d'un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

Le code de l'environnement interdit le stockage en France des déchets radioactifs produits à l'étranger. En particulier, l'introduction de combustibles usés ou de déchets radioactifs sur le territoire national n'est permise sur une durée limitée qu'à des fins de traitement, de recherche ou de transfert entre États étrangers.

Le code de l'environnement précise également les étapes conditionnant l'autorisation de la création et de la fermeture d'une installation de stockage en couche géologique profonde. Ces étapes comprennent notamment l'exploitation préalable d'un laboratoire souterrain dans la zone

---

<sup>24</sup> Ces orientations de gestion tiennent compte des orientations de gestion générales à tous type de déchets définis à l'article L. 541-1 du code de l'environnement.

concernée, la réalisation d'un débat public et la définition par une loi des conditions de réversibilité. L'état des lieux des travaux en cours à ce sujet est présenté en partie 4.2.

Le code de l'environnement confie à l'Andra la mission d'assurer les opérations de gestion à long terme des déchets radioactifs, en particulier :

- de réaliser l'inventaire des matières et des déchets radioactifs en France,
- d'assurer la collecte, le transport et la prise en charge de déchets radioactifs des petits producteurs hors électronucléaire,
- de sécuriser et remettre en état les sites pollués par la radioactivité,
- de rechercher des solutions de stockage pour tous les déchets radioactifs ultimes et d'exploiter et surveiller les centres de stockage.

Le cadre législatif<sup>25</sup> prévoit enfin des dispositions de financement du système de gestion des déchets (voir partie 1.4), ainsi que la modernisation du dispositif d'accompagnement local du laboratoire souterrain et du futur centre de stockage en couche géologique profonde.

La gestion des matières et des déchets radioactifs est également régie par d'autres codes, lois et accords internationaux.

#### Les autres textes législatifs affectant la gestion des matières et déchets radioactifs

- Les lois relatives à la politique énergétique

La programmation pluriannuelle de l'énergie prévue par la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte envisage différents scénarios de politique énergétique. L'Inventaire national de l'Andra reprend en partie ces scénarios dans son édition 2015 et évalue leur incidence sur la production de déchets radioactifs.

- Le titre IX du livre V et le titre II du livre I du code de l'environnement

La loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite loi TSN) :

- instaure une autorité de sûreté nucléaire indépendante qui participe au contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection et à l'information du public dans ces domaines ;
- traite de l'information du public en matière de sécurité nucléaire : en renforçant le droit à l'information sur les installations nucléaires, en donnant un véritable cadre légal aux commissions locales d'information (CLI), et en instituant un Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) destiné à faire vivre le débat au niveau national sur les risques liés aux activités nucléaires et sur l'impact de ces activités sur l'environnement et la santé des personnes ;
- institue le régime légal des INB et du transport de substances radioactives qui définit le cadre conceptuel et l'ensemble des actes juridiques applicables à ces installations et activités.

Elle est codifiée au titre IX du livre V et au titre II du livre I du code de l'environnement.

---

<sup>25</sup> Articles L. 542-11 du code de l'environnement et l'article 43 de la loi de finances pour 2000 complété par les dispositions de l'article 21 de la loi du 28 juin 2006.

- Le code de la santé publique<sup>26</sup>

L'article L. 1333-1 du code de la santé publique définit les **activités nucléaires** comme des activités présentant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants qui émanent soit d'une source artificielle, soit d'une source naturelle lorsque les radionucléides naturels sont traités ou l'ont été en raison de leurs propriétés radioactives. Les activités nucléaires incluent également les interventions destinées à prévenir ou réduire un risque radiologique consécutif à un accident ou à une contamination de l'environnement.

Les activités nucléaires doivent satisfaire les principes de :

- justification des avantages procurés au regard des risques présentés ;
- minimisation de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants ;
- limitation des doses reçues en dessous d'un seuil.

En application de l'article L. 1333-10 du code de la santé publique, les exploitants d'activités « non nucléaires » utilisant des matériaux contenant des radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles doivent également mettre en œuvre des mesures de surveillance et de protection appropriées par rapport au risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Il en va de même pour les propriétaires ou exploitants de lieux ouverts au public ou de certaines catégories d'immeubles bâtis situés dans des zones géographiques où l'exposition aux rayonnements naturels est susceptible de porter atteintes à la santé.

Certaines dispositions réglementaires encadrant les activités précitées ont une incidence sur la gestion des déchets radioactifs.

L'article L. 1333-7 du code de la santé publique décline par ailleurs le principe de responsabilité du producteur de déchets radioactifs en ce qui concerne la gestion des sources radioactives scellées<sup>27</sup> qu'ils distribuent et qui sont destinées aux activités nucléaires. Les sources radioactives scellées, qui sont considérées comme des matières radioactives lorsqu'elles sont distribuées aux utilisateurs, peuvent être assimilées à des déchets lorsqu'elles sont usagées. À cet effet, les fournisseurs ont obligation d'en assurer la reprise et de présenter une garantie financière destinée à couvrir, en cas de défaillance, les coûts de leur gestion.

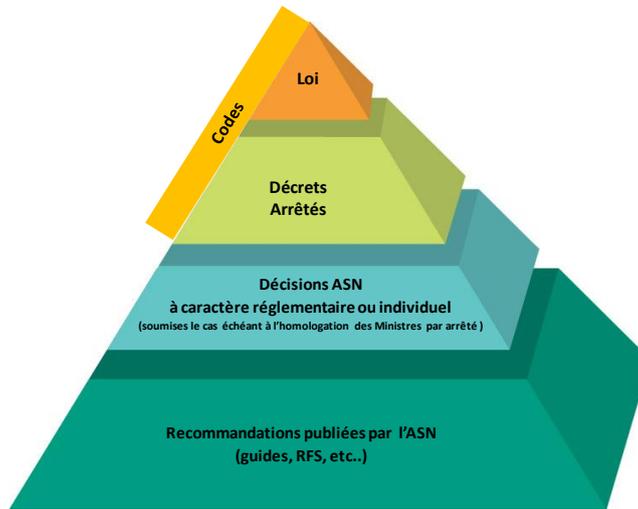
### 1.3.4 Le cadre réglementaire en France

Le cadre législatif sur la gestion des matières et des déchets radioactifs est précisé par différents décrets et arrêtés pris par le Gouvernement. En tant que de besoin, l'ASN peut préciser les dispositions de ces textes par l'intermédiaire de décisions à caractère réglementaire. Elle peut également publier des guides d'application ou édicter des recommandations, qui ne sont pas opposables.

---

<sup>26</sup> Les articles relatifs aux activités nucléaires du code de la santé publique ont été modifiés par l'ordonnance du 10 février 2016 portant diverses dispositions en matière nucléaire. Ces dispositions entreront en vigueur de manière différée mais, en tout état de cause, avant le 1<sup>er</sup> juillet 2017. Ces modifications portent notamment sur la prise en compte de la radioactivité naturelle et la gestion des risques liés au radon.

<sup>27</sup> Sources dont la structure ou le conditionnement empêche, en utilisation normale, toute dispersion de matières radioactives dans le milieu ambiant.



*Hiérarchie des normes<sup>28</sup>*

Outre les dispositions relatives au PNGMDR qui sont décrites au paragraphe 1.3.5, des dispositions réglementaires particulières encadrant les activités nucléaires ou les installations qui présentent des risques pour la santé des personnes dus à l'exposition aux rayonnements ionisants, sont établies en fonction de la quantité et de l'activité des radionucléides présents.

Selon une approche graduée, la réglementation distingue trois types d'installations ou activités nucléaires civiles :

- les INB<sup>29</sup> qui sont liées au type d'installation et éventuellement fonction de l'activité totale des radionucléides potentiellement présents dans l'installation. Elles sont placées sous le contrôle de l'ASN ;
- les ICPE : en deçà des critères INB et au-delà de certains seuils, une installation mettant en œuvre des substances radioactives est réglementée au titre des ICPE et est placée sous le contrôle des préfets ;
- les activités manipulant des substances radioactives qui ne relèvent pas de la nomenclature des INB ou des ICPE, relèvent du code de la santé publique et sont placés sous le contrôle de l'ASN. Il s'agit d'activités manipulant de très faibles quantités de déchets radioactifs. Sont notamment concernées les activités médicales.

### Les installations nucléaires de base

La nomenclature des INB est définie par le décret n° 2007-830 du 11 mai 2007 relatif à la nomenclature des installations nucléaires de base. Les INB correspondent notamment à des réacteurs nucléaires, des installations d'entreposage de combustibles nucléaires ou des installations de stockage des déchets radioactifs, lorsque l'installation est capable de recevoir des radionucléides dont le stock potentiel se traduirait par une activité totale (exprimée par un coefficient Q) dépassant un certain seuil. Ce seuil est, à titre d'exemple, fixé à  $10^9$  pour les installations de stockage.

<sup>28</sup> Les guides et recommandations publiées par l'ASN ne sont pas opposables.

<sup>29</sup> Ces installations ont leur pendant dans le domaine de la défense : les installations nucléaires de base secrètes qui sont placées sous le contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire de défense.

Les décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 modifié relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives et l'arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, établissent les exigences applicables aux procédures administratives d'autorisation et à l'exploitation des INB pour protéger les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement (la santé et la salubrité publiques ainsi que la protection de la nature et de l'environnement). La gestion des déchets radioactifs provenant des INB y est notamment prise en compte.

Le titre VI de l'arrêté du 7 février 2012 rappelle la nécessité pour l'exploitant de prendre toutes les dispositions nécessaires dans la conception et l'exploitation de ses installations pour assurer une gestion optimale et sûre des déchets produits, en tenant notamment compte des principes de gestion édictés par le code de l'environnement et des filières de gestion disponibles ou à l'étude. L'exploitant est tenu d'assurer la traçabilité des déchets qu'il produit.

L'exploitant doit, par ailleurs, fournir une étude précisant les modalités de gestion des déchets qu'il produit, et établir un plan de zonage déchets, délimitant les zones à production possible de déchets nucléaires au sein de son installation. La décision n° 2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base<sup>30</sup> précise les modalités d'élaboration de ce zonage déchets et dispose que les déchets provenant de zones à production possible de déchets nucléaires doivent être gérés comme des déchets radioactifs<sup>31</sup>.

#### Les installations nucléaires de base secrètes

La gestion des déchets radioactifs provenant des INBS est encadrée par l'arrêté du 26 septembre 2007 fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base secrètes. Le titre VI de cet arrêté rappelle la nécessité pour l'exploitant de prendre toutes les dispositions nécessaires pour réduire le volume, la toxicité radiologique, chimique et biologique des déchets produits dans ses installations et pour optimiser leur gestion en veillant à favoriser leur valorisation et leur traitement par rapport à un stockage définitif, réservé aux déchets ultimes. Il exige la rédaction d'un document de synthèse précisant les modalités de gestion des déchets produits dans les installations nucléaires de base secrètes et l'établissement d'un plan de zonage déchets, délimitant les zones à production de déchets nucléaires où l'ensemble des déchets doit faire l'objet d'une gestion spécifique et renforcée (les déchets nucléaires devant être collectés, traités et éliminés dans des établissements autorisés à cet effet). Ce document est soumis à l'approbation de l'Autorité de sûreté nucléaire de défense (ASND) et sert de référentiel pour la gestion optimisée des déchets produits dans les INBS.

---

<sup>30</sup> Un guide de l'ASN est en préparation pour aider les exploitants à mettre en œuvre cette décision réglementaire.

<sup>31</sup> Certains déchets produits dans ces zones peuvent toutefois, sous réserve d'une autorisation par l'ASN et après consultation du public, être gérés comme des déchets non radioactifs s'il est démontré par l'exploitant qu'ils n'ont pu, en aucun façon et à aucun moment être contaminés ou activés.

## Les installations classées pour la protection de l'environnement

Les installations susceptibles de mettre en œuvre plus de 10 m<sup>3</sup> de substance radioactive dont la capacité se traduirait par une activité totale (exprimée par un coefficient Q) inférieure au seuil mentionné dans la nomenclature INB mais dépassant 10<sup>4</sup>, sont soumises à autorisation au titre des ICPE (rubrique 1716)<sup>32</sup>. Les installations stockant ou entreposant plus d'une tonne de résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium et les produits de traitement sans uranium enrichi en isotope 235 (rubrique 1735) ou les installations susceptibles de gérer plus de 10 m<sup>3</sup> de déchets radioactifs dont l'activité totale serait supérieure aux seuils d'exemption définis par le code de la santé publique (rubrique 2797) sont également soumises à autorisation au titre des ICPE en application du décret n° 2014-996 du 2 septembre 2014 modifiant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (codifié dans le code de l'environnement).

L'exploitant de telles installations, correspondant en général à des installations de l'amont du cycle du combustible ou au centre de stockage des déchets de très faible activité, doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour gérer ses déchets dans le respect des principes législatifs (réduction du volume et de la nocivité, optimisation, etc.) précisés au paragraphe 1.3.3. L'article L. 541-7 du code de l'environnement précise en outre que ces installations sont tenues de fournir à l'administration toutes informations concernant l'origine, la nature, les caractéristiques, les quantités, la destination et les modalités d'élimination de leurs déchets.

## Les autres activités nucléaires

En ce qui concerne les déchets produits par les activités nucléaires hors INB, INBS ou ICPE<sup>33</sup> (activités nucléaires médicales notamment), l'article R. 1333-12 du code de la santé publique et la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008 prévoient que la gestion des effluents et des déchets contaminés par des substances radioactives ou susceptibles de l'être comportant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants doit faire l'objet d'un examen et d'une approbation par les pouvoirs publics.

Comme pour les INB, le titulaire de l'autorisation doit fournir un plan de gestion précisant les modalités de gestion des déchets qu'il produit, et établir un plan de zonage déchets, délimitant les zones à production possible de « déchets contaminés » au sein de son installation. Les déchets provenant de zones à production possible de déchets contaminés doivent être gérés comme des déchets contaminés. Les déchets à vie très courte peuvent faire l'objet d'une gestion par décroissance radioactive, tandis que les autres doivent être gérés dans les filières autorisées.

## Les sources radioactives

L'article R. 1333-52 du code de la santé publique impose aux fournisseurs de sources radioactives scellées de récupérer, sans condition, sur simple demande ou à l'issue d'une période de 10 ans, toute source usagée qu'ils ont distribué. Les fournisseurs doivent disposer, dans des conditions

---

<sup>32</sup> Les installations de ce type dont l'activité totale peut être comprise entre 1 et 10<sup>4</sup> sont soumises à déclaration.

<sup>33</sup> Dispositions applicables depuis le 1<sup>er</sup> août 2015, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 23 juin 2015 relatif aux installations mettant en œuvre des substances radioactives, déchets ou résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium soumises à autorisation au titre de la rubrique 1716, de la rubrique 1735 et de la rubrique 2797 de la nomenclature des installations classées.

compatibles avec la protection de la santé et de l'environnement, d'un site d'entreposage d'une capacité suffisante pour recevoir les sources en fin d'utilisation dans l'attente de leur élimination (dans une installation de stockage) ou de leur recyclage. Ce même article impose à tout détenteur de sources radioactives scellées périmées ou en fin d'utilisation de les faire reprendre, quel que soit leur état, par un fournisseur qui y est habilité. Les sources qui ne sont pas recyclables dans les conditions techniques et économiques du moment peuvent être reprises en dernier recours par l'Andra. Les frais afférents à la reprise de ces sources sont à la charge du détenteur.

Les utilisateurs et détenteurs de sources radioactives doivent :

- prendre toute mesure appropriée pour empêcher leur accès non autorisée, leur perte, leur vol ou les dommages par le feu ou l'eau qu'elles pourraient subir ;
- être en mesure de justifier en permanence de l'origine et de la destination de ces sources ;
- tenir un inventaire des sources et les enregistrer à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) préalablement à leur acquisition ou cession.<sup>34</sup>

### **1.3.5 Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs**

Comme indiqué dans le paragraphe 1.3.2, l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement impose l'adoption tous les trois ans d'un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) qui doit :

- dresser le bilan des modes de gestion existants des matières et déchets radioactifs ;
- recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage et préciser les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage.

Le PNGMDR doit également :

- fixer les objectifs généraux à atteindre, les principales échéances et les calendriers permettant de respecter ces échéances en tenant compte des priorités qu'il définit ;
- déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif ;
- organiser la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et déchets radioactifs ;
- déterminer les personnes responsables de sa mise en œuvre ainsi que les indicateurs permettant de surveiller l'avancement de sa mise en œuvre ;
- comporter une estimation des coûts de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs, assortie d'un calendrier et mentionnant les hypothèses selon lesquelles cette estimation a été établie. Les mécanismes de financement en vigueur doivent également être précisés.

Le PNGMDR doit organiser en particulier les recherches et études à mener sur la gestion des déchets et fixer les échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion et pour la création ou la modification d'installations. Il doit également comporter un état des solutions techniques et des mesures à prévoir pour la période postérieure à la fermeture des installations de stockage et une synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers. Les prescriptions du PNGMDR sont ensuite établies par décret.

Le PNGMDR, qui est élaboré au sein d'un groupe de travail pluraliste dédié, est alimenté par :

- l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs de l'Andra ;

---

<sup>34</sup> Cf. articles R. 1333-50 et R. 1333-51 du code de la santé publique.

- les études et recherches qui ont été menées jusque-là, notamment par les producteurs de déchets et l'Andra ;
- les avis de l'ASN et les évaluations de l'IRSN, de la Commission nationale d'évaluation, de l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques (OPECST), du HCTISN, etc. ;
- la concertation avec l'ensemble des parties prenantes (producteurs et gestionnaire de déchets radioactifs, administrations, membres de commissions locales d'information, associations de protections de l'environnement, etc.), notamment au sein d'un groupe de travail pluraliste ;
- un dialogue de long terme avec les populations riveraines des sites de gestion de déchets radioactifs, notamment par l'intermédiaire des CLI.

Il couvre l'ensemble des matières et déchets radioactifs et l'ensemble des étapes de leur gestion.

Chaque PNGMDR est transmis au Parlement, qui en saisit pour évaluation l'OPECST, et il est rendu public. Une synthèse du plan à destination du grand public est également publiée.

De manière nouvelle, en application des dispositions des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement, la présente édition du PNGMDR fait l'objet d'une évaluation environnementale<sup>35</sup>, qui est remise pour avis à la formation d'autorité environnementale du Conseil général de l'environnement et du développement durable en application du I de l'article R. 122-17 du code de l'environnement. Le rapport d'évaluation environnementale du PNGMDR et l'avis de l'autorité environnementale sont rendus public.

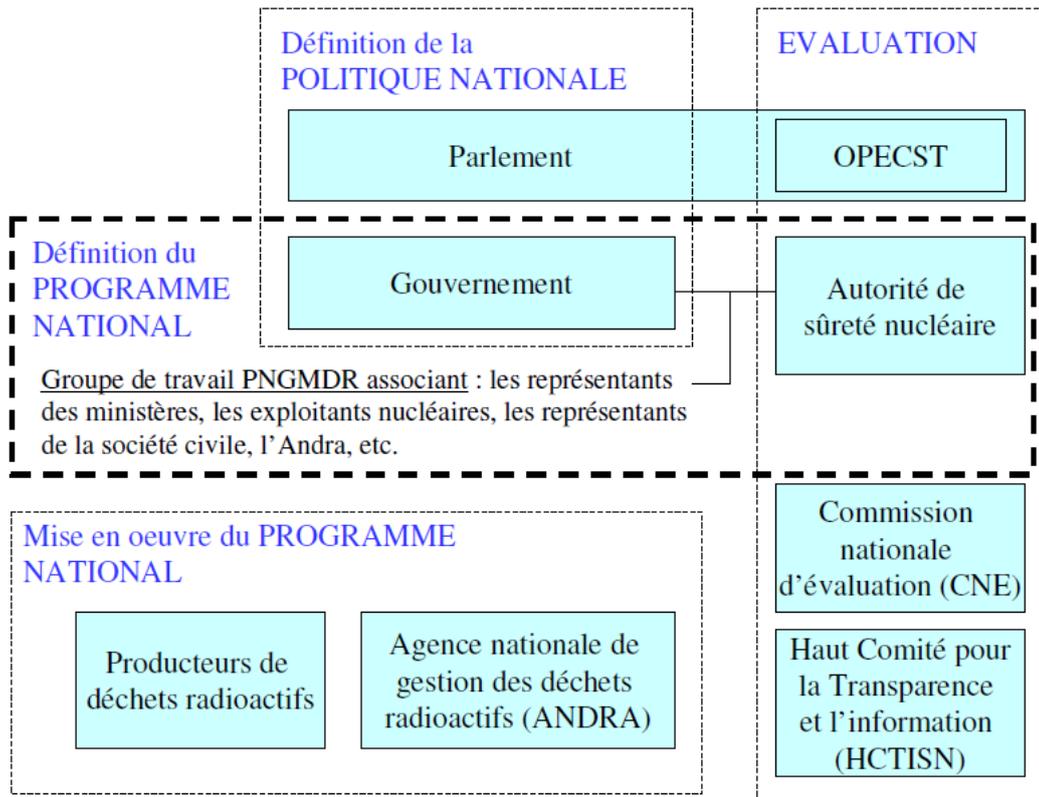
Dans la continuité de l'élaboration des PNGMDR précédents, la démarche engagée pour la révision du PNGMDR fait ainsi une large place au pluralisme et à la transparence.

### **1.3.6 Les acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs**

Les responsabilités des différentes parties prenantes de la gestion des matières et des déchets radioactifs sont réparties suivant le schéma présenté ci-après qui distingue trois niveaux de gestion : la définition de la politique nationale (« principes et orientations »), la définition du programme national (« mesures à mettre en œuvre »), la mise en œuvre de ce programme, et sépare les entités en charge de la mise en œuvre du dispositif national de gestion, de celles en charge de son évaluation.

---

<sup>35</sup> L'évaluation environnementale consiste notamment à identifier et évaluer les effets notables des mesures du plan sur l'environnement, à exposer les mesures de substitution envisagées pour atteindre les objectifs visés par le plan et expliquer pourquoi elles n'ont pas été retenues, et à indiquer les mesures pour réduire et compenser les incidences négatives du plan sur l'environnement.



*Élaboration de la politique nationale française, du programme national, mise en œuvre et évaluation*

### Les producteurs de matières et déchets radioactifs

Les propriétaires de matières radioactives et les producteurs de déchets radioactifs peuvent être regroupés en cinq secteurs économiques (cf. paragraphe 1.1.2) : électronucléaire, recherche, défense, industrie non-électronucléaire et médical. Trois producteurs : Areva, le CEA et EDF représentent plus des trois-quarts de l'ensemble de la production nationale<sup>36</sup>. Les producteurs sont responsables d'assurer la gestion des déchets radioactifs qu'ils produisent jusqu'à leur mise en sécurité définitive.

### L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

L'Andra, établissement public, industriel et commercial spécialisé, est responsable de la gestion à long terme des déchets radioactifs. Les missions de l'Andra, détaillées dans l'article L. 542-12 du code de l'environnement, comprennent notamment la conception et l'exploitation des centres de stockage, la réalisation d'études et de recherches sur l'entreposage et sur le stockage en couche géologique profonde, la collecte, le transport et la prise en charge des déchets radioactifs des petits producteurs hors électronucléaire, la remise en état de sites pollués, et l'information du public. L'Andra établit, met à jour et publie par ailleurs tous les trois ans l'inventaire des matières et déchets radioactifs présents en France.

<sup>36</sup> Cf. Édition 2015 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs, établi par l'Andra.

## Les acteurs en charge de l'élaboration et de la mise en application du programme national

Plusieurs ministères interviennent dans la définition, la mise en œuvre et le contrôle de la politique de gestion des matières et des déchets radioactifs.

Au sein du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) élabore la politique et met en œuvre les décisions du Gouvernement relatives au secteur nucléaire civil, tandis que la direction générale de la prévention des risques (DGPR) et en particulier la mission sûreté nucléaire et radioprotection (MSNR) élabore, coordonne et met en œuvre les missions du Gouvernement concernant la sûreté nucléaire et la radioprotection civiles, à l'exclusion des missions confiées à l'ASN. Cette mission assure aussi, en lien avec l'ASN, le suivi des questions relatives à la gestion des anciennes mines d'uranium et des sites et sols pollués par des substances radioactives. La DGPR élabore également la politique en matière de gestion des déchets conventionnels, y compris ceux dits à NORM<sup>37</sup>.

Au sein du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) coordonne les efforts de recherche français.

Deux autorités existent en France pour le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection :

- l'ASN, autorité administrative indépendante, qui assure le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour les installations et activités nucléaires civiles. Elle assure le secrétariat du groupe de travail du PNGMDR et elle rend des avis sur les études remises dans le cadre du PNGMDR ;
- l'ASND, dirigée par le délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense et placée auprès du ministre chargé de la défense et du ministre chargé de l'industrie, qui assure le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense.

## Les autres intervenants ou instances influant sur l'élaboration du programme national

Dans le cadre des échanges organisés pour promouvoir la transparence et la concertation, de nombreux autres acteurs sont amenés à participer à la définition de la politique de gestion des matières et déchets radioactifs. Ainsi, des représentants de la société civile et des associations de protection de l'environnement tels que l'ACRO (Association pour le contrôle de la radioactivité de l'Ouest), Robin des Bois, le GSIEN (Groupement de scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire), WISE-Paris (*World information service on energy*), Greenpeace ou France Nature Environnement (FNE), participent au groupe de travail du PNGMDR.

Les articles L. 125-34 à L. 125-40 du code de l'environnement prévoient que le HCTISN organise périodiquement des concertations et débats concernant la gestion des matières et des déchets radioactifs. Le HCTISN peut également être saisi pour avis sur les sujets relatifs à la transparence et à l'information du public concernant la sécurité nucléaire et son contrôle.

Des échanges ont également lieu au sein :

- des CLI, implantées autour des installations nucléaires (INB et INBS), et regroupées en une association nationale des CLI (ANCCLI). ;

---

<sup>37</sup> Anciennement dénommés déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR).

- du Comité local d'information et de suivi (CLIS), mis en place auprès du Laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse / Haute-Marne.

Pour l'élaboration de certains points de doctrine sur la gestion des matières et des déchets radioactifs, l'ASN peut s'appuyer sur les avis et les recommandations d'un groupe permanent d'experts nommés en raison de leurs compétences dans le domaine des déchets<sup>38</sup>. Les avis de ce groupe d'expert sont rendus publics par l'ASN.

Enfin, des organisations internationales travaillent à l'harmonisation des politiques de gestion entre les différents pays : EURATOM (Communauté européenne de l'énergie atomique) et WENRA (association des autorités de sûreté européennes) au niveau européen, l'AEN (Agence de l'énergie nucléaire) au sein de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) et de l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) rapportant à l'assemblée générale de l'ONU (Organisation des Nations unies).

#### Les entités en charge de l'évaluation du programme national de gestion

Au sein du Parlement, l'OPECST procède à des évaluations afin d'informer le Parlement des conséquences des choix scientifiques et technologiques. Ces évaluations peuvent notamment concerner le domaine de l'énergie nucléaire. Le rôle du Parlement et son engagement dans la durée doivent être soulignés quant au suivi et à l'élaboration de la politique nationale de gestion des matières et des déchets radioactifs.

La Commission nationale d'évaluation (CNE2) assure une évaluation annuelle de la recherche dans le domaine de la gestion des matières et déchets radioactifs<sup>39</sup>.

#### Les organismes de recherche sur les matières et déchets radioactifs

Outre l'Andra, les principaux instituts français de recherche dans le domaine de la gestion des matières et des déchets radioactifs sont le CEA, le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), le CNRS (notamment par le défi interdisciplinaire NEEDS : Nucléaire, Énergie, Environnement, Déchets, Société), l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), l'IRSN, l'Institut Carnot MINES (Institut Carnot « Méthodes innovantes pour l'entreprise et la société »), ainsi que des universités.

La loi du 28 juin 2006 a plus particulièrement confié la responsabilité des recherches sur la séparation-transmutation au CEA et les recherches sur le stockage et sur l'entreposage à l'Andra. Les recherches de l'IRSN sont essentiellement focalisées sur les enjeux de sûreté et de radioprotection associés en particulier à la gestion des déchets et aux stockages géologiques. Elles contribuent à maintenir une capacité d'expertise de haut niveau permettant à cet institut de jouer son rôle d'appui technique des autorités de sûreté.

---

<sup>38</sup> Les experts (français et étrangers) sont issus des milieux universitaires et associatifs mais comprennent aussi des exploitants ou des personnes de la société civile intéressés par les sujets traités. La participation d'experts étrangers permet de diversifier les modes d'approche des problèmes et de bénéficier de l'expérience acquise au plan international.

<sup>39</sup> Les rapports de la CNE2 sont disponibles sur son site internet : <http://www.cne2.fr/>.

Parallèlement, un certain nombre d'actions de recherche et de développement (R&D) sont réalisées par les industriels (EDF et Areva), en partie dans le cadre d'accords les associant avec le CEA ou l'Andra.

Ces programmes de recherches sont suivis au sein d'un comité d'orientation et de suivi des recherches sur l'aval du cycle co-présidé par la DGEC et la DGRI, qui vise à en assurer la cohérence.

## 1.4 *Le coût et le financement de la gestion des matières et des déchets*

Le financement de la gestion des matières et déchets radioactifs est assuré, sous le contrôle de l'État, par les exploitants nucléaires, selon le principe « pollueur-payeur ».

Ainsi, un dispositif de sécurisation du financement des charges nucléaires de long terme, a été institué dans la loi du 28 juin 2006 codifiée au code de l'environnement. Les exploitants sont tenus d'évaluer les charges de long terme parmi lesquelles figurent les charges de démantèlement et les charges de gestion des combustibles usés et déchets radioactifs. Ils doivent assurer, dès à présent, la couverture de ces charges à venir par la constitution d'actifs dédiés qui doivent présenter un haut niveau de sécurité.

Ces opérations sont étroitement contrôlées par l'État, à travers une autorité administrative formée par les ministres chargés de l'économie et de l'énergie. Ainsi, pour exercer son contrôle, l'autorité administrative reçoit notamment des exploitants un rapport triennal sur l'évaluation des charges de long terme, les méthodes et les choix retenus pour la gestion des actifs dédiés, ainsi qu'un inventaire trimestriel des actifs dédiés.

### 1.4.1 **Dispositions législatives et réglementaires sur la sécurisation du financement des charges de long terme**

L'application du principe « pollueur-payeur » est particulièrement importante dans le domaine du financement des opérations de démantèlement et de gestion des déchets radioactifs. En effet, il est essentiel d'éviter que ces charges ne soient transférées aux générations futures, ou à la collectivité, alors que nous bénéficions aujourd'hui de la filière électronucléaire. La loi du 28 juin 2006 a ainsi introduit un dispositif de sécurisation du financement des charges nucléaires de long terme<sup>40</sup>, complété en 2007 par un corpus réglementaire.<sup>41</sup>

Ce dispositif repose sur la constitution, dès la mise en service de l'installation, puis progressivement au cours de l'exploitation, d'un portefeuille d'actifs dédiés, gérés de façon telle que leur vente permette, le moment venu, de financer le coût des opérations de long terme. Ceci se fait sous le contrôle de l'État (autorité administrative), qui analyse la situation des exploitants et peut prescrire les mesures nécessaires en cas de constat d'insuffisance ou d'inadéquation. Dans tous les cas, ce sont les exploitants nucléaires qui restent intégralement responsables du bon financement des charges futures liées au démantèlement de leurs installations ou à la gestion de leurs déchets.

Les exploitants d'installations nucléaires (INB et INBS) sont ainsi tenus d'évaluer, de manière prudente, les charges de démantèlement de leurs installations, ou pour leurs installations de stockage de déchets radioactifs, leurs charges d'arrêt définitif, d'entretien et de surveillance<sup>42</sup>. Ils évaluent aussi les charges de gestion de leurs combustibles usés et déchets radioactifs. Ces charges doivent faire l'objet de provisions actualisées, inscrites dans les comptes des exploitants.

---

<sup>40</sup> Les dispositions de la loi du 28 juin 2006, et plus particulièrement de son article 20, sont aujourd'hui en partie codifiées (articles L. 594-1 et suivants du code de l'environnement).

<sup>41</sup> Décret n° 2007-243 du 23 février 2007 (modifié par décret n° 2010-1673 du 29 décembre 2010) et arrêté du 21 mars 2007 modifié relatif à la sécurisation du financement des charges de long terme.

<sup>42</sup> Cette évaluation inclut également les charges de reprise et conditionnement des déchets anciens (RCD).

Ceux-ci constituent alors un portefeuille d'actifs dédiés, exclusivement affectés à la couverture de leurs provisions, et dont la valeur de réalisation est au moins égale au montant des provisions (à l'exclusion de celles liées au cycle d'exploitation<sup>43</sup>).

Les actifs dédiés doivent présenter un niveau de sécurité, de diversification et de liquidité suffisant et approprié. À cette fin, des dispositions réglementaires précisent les règles d'admissibilité de ces actifs (portant notamment sur la catégorie des actifs et le niveau de diversification du portefeuille).

Par ailleurs, les actifs affectés à la couverture des provisions ne peuvent être utilisés pour aucun autre objet par l'exploitant, et ne peuvent faire l'objet d'une quelconque revendication par un créancier (y compris dans le cas de difficultés financières de l'exploitant), à l'exception de l'État dans l'exercice de ses pouvoirs, pour faire respecter par les exploitants leurs obligations de démantèlement et de gestion de matières et déchets radioactifs. Les actifs doivent faire l'objet d'un inventaire trimestriel.

Les exploitants sont tenus de maintenir en permanence le taux de couverture de leurs provisions au-dessus du seuil de 100 % depuis juin 2011.

Depuis 2015, l'obligation de constituer des garanties financières est également étendue aux exploitants d'ICPE mettant en œuvre des substances radioactives<sup>44</sup>. Ces garanties visent à assurer la surveillance des sites, le maintien en sécurité des installations, ainsi que les interventions éventuelles en cas d'accident.

L'article L. 542-1-2 du code de l'environnement précise que le PNGMDR « *comporte une estimation des coûts de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs, assortie d'un calendrier et mentionnant les hypothèses selon lesquelles cette estimation a été établie* ». Afin de compléter les informations disponibles dans le PNGMDR 2016-2018 sur le coût de gestion des déchets radioactifs, il est nécessaire que les détenteurs de combustibles usés apportent des informations relatives à leur coût actuel de gestion.

**R3 – Areva, EDF et le CEA transmettent avant le 31 décembre 2017 des éléments sur les coûts de gestion détaillés de tous les types de combustibles usés et des déchets radioactifs qu'ils détiennent, intégrant notamment les coûts de transport, d'entreposage et de retraitement éventuel. Pour les combustibles usés de la propulsion navale, seuls les combustibles usés métalliques sont concernés par cette demande.**

#### 1.4.2 Modalités de contrôle des exploitants

Le contrôle du respect des obligations pesant sur les exploitants est effectué par une autorité administrative, formée conjointement par les ministres chargés de l'économie et de l'énergie. Administrativement, ce contrôle est réalisé par la DGEC, qui s'appuie sur l'expertise des autorités de sûreté nucléaire compétentes (ASN et ASND).

<sup>43</sup> L'arrêté du 21 mars 2007 précise que seules les charges de gestion des combustibles usés recyclables dans les installations industrielles construites ou en construction peuvent être considérées comme liées au cycle d'exploitation, au sens de l'article L. 594-2 du code de l'environnement (ex-article 20-II de la loi du 28 juin 2006).

<sup>44</sup> Arrêté du 23 juin 2015 relatif aux installations mettant en œuvre des substances radioactives, déchets radioactifs ou résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium soumises à autorisation au titre de la rubrique 1716, de la rubrique 1735 et de la rubrique 2797 de la nomenclature des installations classées.

En application du code de l'environnement<sup>45</sup>, les exploitants transmettent à l'autorité administrative, tous les trois ans, un rapport décrivant l'évaluation des charges de long terme, les méthodes appliquées pour le calcul des provisions afférentes à ces charges et les choix retenus en ce qui concerne la composition et la gestion des actifs affectés à la couverture des provisions. Une actualisation de ce rapport doit également être transmise annuellement, ainsi que lors de tout événement impliquant une modification substantielle de son contenu. Les exploitants communiquent enfin à l'autorité administrative un inventaire trimestriel des actifs dédiés.

Si l'autorité administrative relève une insuffisance ou une inadéquation dans l'évaluation des charges, le calcul des provisions ou le montant, la composition ou la gestion des actifs affectés à ces provisions, elle peut, après recueil des observations de l'exploitant, prescrire les mesures nécessaires à la régularisation de sa situation en fixant les délais dans lesquels celui-ci doit les mettre en œuvre. Pour fixer ces délais, l'autorité administrative tient compte des conditions économiques et de la situation des marchés financiers. Ces délais ne peuvent excéder trois ans.

En cas d'inexécution de ces prescriptions dans le délai imparti, l'autorité administrative peut ordonner, sous astreinte, la constitution des actifs nécessaires ainsi que toute mesure relative à leur gestion. Par ailleurs, l'autorité administrative peut prononcer une sanction pécuniaire dont le montant n'excède pas 5 % de la différence entre le montant des actifs constitués par l'exploitant d'une installation nucléaire et celui prescrit par l'autorité administrative. En cas de manquement aux obligations d'information, l'autorité administrative peut prononcer une sanction pécuniaire au plus égale à 150 000 €.

En outre, dans le cas où l'autorité administrative constaterait que l'application des dispositions de la loi pourrait être entravée, elle peut imposer à l'exploitant concerné de verser les sommes nécessaires au sein du fonds créé auprès de l'Andra (article L. 542-12-2 du code de l'environnement).

Au cours de ces dernières années les effectifs de l'autorité administrative ont été progressivement consolidés pour tenir compte de la charge de travail importante que représente le contrôle des charges de long terme. Le programme d'audit mentionné dans le rapport de 2012 de la CNEF<sup>46</sup> (Commission nationale d'évaluation du financement des charges de démantèlement des installations nucléaires de base et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs) a été initié, avec pour objectif de fournir à l'autorité administrative des analyses externes sur les charges de long terme.

Par ailleurs, l'ACPR (Autorité de contrôle prudentiel et de résolution) pourra être consultée par l'autorité administrative sur les problématiques financières liées au respect des obligations de constitution d'actifs par les exploitants nucléaires. Le gouvernement envisage donc de supprimer la CNEF comme elle l'a elle-même suggéré dans son rapport de 2012.

---

<sup>45</sup> Cf. articles L. 594-1 et suivants du code de l'environnement.

<sup>46</sup> Cette commission, instituée par l'article L. 594-11 du code de l'environnement, est présidée par des parlementaires et rend compte au Parlement.

### 1.4.3 Montants des provisions et des actifs dédiés constitués

Le tableau ci-après indique, pour les trois principaux exploitants (Areva, CEA, EDF), au 31 décembre 2014 :

- les charges de long terme, en valeur brute aux conditions économiques 2014, *i.e.* le montant qu'il aurait fallu déboursier si tous les travaux avaient été réalisés en 2014 ;
- les provisions correspondantes actualisées en fonction des échéanciers prévisionnels de décaissement ;
- le montant de la part de ces provisions qui doit être couverte par des actifs dédiés conformément à la loi ;
- le montant des actifs dédiés déjà constitués.

En milliards d'euros, et au 31.12.2015		Charges brutes, aux conditions économiques 2014	Provisions Actualisées	Assiette des provisions à couvrir par des actifs dédiés <sup>47</sup>	Valeur du portefeuille d'actifs de couverture	Taux de couverture
<b>EDF</b>	Démantèlement	26,1	14,9	14,9	-	-
	Combustibles	20,6	12,9	0,4		
	Déchets	28,9	8,3	8,3		
	<b>TOTAL</b>	<b>75,6</b>	<b>36,1</b>	<b>23,6</b>		
<b>CEA</b>	Démantèlement	10,1	7,1	7,1	-	-
	Combustibles	1,4	0,7	0,7		
	RCD*	3,6	2,6	2,6		
	Déchets	6,5	2,5	2,5		
	<b>TOTAL</b>	<b>21,6</b>	<b>12,9</b>	<b>12,9</b>		
<b>AREVA et filiales</b>	Démantèlement	8,9	4,4	4,4	-	-
	RCD*	1,5	1,2	1,2		
	Déchets	3,1	1,2	1,2		
	<b>TOTAL</b>	<b>13,5</b>	<b>6,8</b>	<b>6,8</b>		
<b>Total Exploitants</b>	Démantèlement	45,0	26,4	26,4	-	-
	Combustibles	22,0	13,6	1,1		
	RCD*	5,1	3,9	3,9		
	Déchets	38,5	12,0	12,0		
	<b>TOTAL</b>	<b>110,5</b>	<b>55,9</b>	<b>43,4</b>		

*Actifs dédiés des exploitants Areva, EDF et CEA au 31 décembre 2015<sup>48</sup>.*

*\* RCD : reprise et conditionnement des déchets anciens*

<sup>47</sup> Seules les provisions pour démantèlement, les provisions pour gestion des déchets radioactifs et les provisions pour gestion du combustible utilisé non-recyclable doivent être couvertes par des actifs dédiés. Les provisions pour gestion du combustible utilisé recyclable dans les installations industrielles construites ou en construction sont exclues de l'assiette de couverture, quand bien même elles doivent être comptabilisées parmi les provisions au titre de l'article L. 594-1 du code de l'environnement. Les charges correspondantes seront en effet directement financées par les produits d'exploitation des installations industrielles construites ou en construction.

<sup>48</sup> Les données fournies dans ce tableau sont issues des notes d'actualisation de 2015 d'Areva, du CEA et d'EDF du rapport triennal sur la sécurisation du financement des charges nucléaires.

## 1.5 La transparence

La transparence, l'information, le débat et la concertation du public constituent un pilier essentiel de la politique de gestion des matières et des déchets radioactifs qui consiste à assurer l'existence d'un dialogue démocratique à tous les niveaux :

- au niveau local, de manière continue au sein des commissions locales d'information ;
- au niveau parlementaire, concernant les modalités d'une gestion définitive des déchets de haute et moyenne activités à vie longue, et l'évaluation du dispositif national de gestion et de ses avancées ;
- auprès du grand public, via le PNGMDR et les débats publics.

Dans cette démarche de transparence, d'information et de concertation du public concernant le processus de décision sur la gestion des déchets et des matières radioactives, l'ensemble des travaux relatifs à l'élaboration et au suivi du PNGMDR effectués au sein d'un groupe de travail pluraliste sont rendus publics (études et recherches prescrites par le plan précédent, avis sur les études, comptes rendus de réunions, rapport d'évaluation environnementale, présentations, etc.).

### 1.5.1 L'information et la participation du public

Un des piliers de la politique de gestion des matières et des déchets radioactifs consiste à assurer l'existence d'un dialogue démocratique à tous les niveaux :

- au niveau local et de manière continue, grâce à la mise en place des CLI auprès des installations de traitement et de stockage ;
- auprès du grand public : le PNGMDR, basé sur l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs, est un élément essentiel de la transparence. En outre, la France peut également avoir recours à des débats publics nationaux. Un débat sur la gestion des déchets radioactifs a ainsi été organisé pendant 4 mois en 2005, en amont de la loi « déchets » du 28 juin 2006. Un autre débat portant sur le projet de stockage de déchets radioactifs réversible en couche géologique profonde Cigéo a été organisé pendant 6 mois en 2013 ;
- au niveau parlementaire : dans le cadre de l'autorisation d'une installation de stockage en couche géologique profonde, la loi déchets prévoit deux rendez-vous parlementaires, le premier pour fixer les conditions de réversibilité avant l'autorisation du centre de stockage, le second, à plus long terme, pour autoriser sa fermeture. La décision finale d'autorisation de création reviendra au Gouvernement mais le décret d'autorisation d'une installation de stockage ne pourra être pris que si un examen parlementaire a eu lieu auparavant.

Le code de l'environnement acte dans les articles L. 124-1 et suivants le droit de toute personne d'accéder aux informations relatives à l'environnement détenues, reçues ou établies par les autorités publiques. L'ensemble des informations détenues sont donc accessibles au public à l'exception de celles remettant en cause le secret industriel ou pouvant présenter des risques en matière de sécurité publique.

Le code de l'environnement définit la transparence et le droit à l'information en matière nucléaire comme l'ensemble des dispositions prises pour garantir le droit du public à une information

fiable et accessible en matière de sécurité nucléaire. Le droit à l'information en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection concerne notamment l'information du public sur les événements survenus dans les installations nucléaires ou lors de transports de substances radioactives, sur les rejets, normaux ou accidentels, des installations nucléaires, et l'information des travailleurs ou des patients sur leur exposition radiologique individuelle.

Des structures et des procédures permettant la participation du public ont été mises en place. Il s'agit d'instances de concertation, de dialogue, d'information ou de débat :

- le HCTISN ;
- les CLI, représentées au niveau national par l'Association nationale des comités et commissions locales d'informations (ANCCLI) ;
- le groupe de travail pluraliste en charge de l'élaboration et du suivi du PNGMDR.

Plusieurs procédures de consultation du public, effectivement utilisées dans le processus décisionnel concernant la gestion des déchets radioactifs, sont encadrées par la réglementation :

- consultations du public sur les projets de décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement en application de l'article L. 120-1 du code de l'environnement ;
- enquêtes publiques, pour les autorisations ou modifications d'autorisation relatives aux installations ;
- débat public pour les projets d'aménagement ou d'équipement ayant une incidence importante sur l'environnement ou sur l'aménagement du territoire, au-delà de certains montants d'investissement (cas du projet Cigéo, détaillé au paragraphe 4.2.6).

L'information du public est également assurée directement par les différents acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs, notamment sur leurs sites internet.

### **1.5.2 Les travaux du groupe de travail du PNGMDR**

La gestion des matières et des déchets radioactifs doit s'exercer de manière transparente vis-à-vis du public en impliquant l'ensemble des parties prenantes. Le PNGMDR est ainsi élaboré au sein d'un groupe de travail pluraliste<sup>49</sup> co-présidé par l'ASN et DGEC.

Ce groupe de travail du PNGMDR se réunit trimestriellement. Les réunions sont l'occasion d'échanges techniques sur les sujets liés à la gestion des matières et déchets radioactifs. Elles ont pour objectif :

- de suivre les actions définies par le plan en vigueur et son décret d'application ;
- d'informer les membres du groupe de travail sur les sujets relatifs à la gestion des matières et des déchets radioactifs ;
- d'alimenter les réflexions qui conduiront à la révision triennale du plan.

Afin de faciliter les débats, des groupes de travail thématiques complètent les travaux du groupe plénier. Les associations sont représentées de manière effective à l'ensemble de ces groupes thématiques qui rendent compte périodiquement des travaux menés en réunion plénière.

---

<sup>49</sup> Le groupe de travail du PNGMDR est notamment constitué de représentants de l'administration, des autorités de sûreté, des gestionnaires de déchets radioactifs, des producteurs de déchets et des représentants d'association et de la société civile.

Le PNGMDR, sa synthèse et le décret établissant les prescriptions du Plan, ainsi que les avis de l'ASN sur les études remises dans le cadre du PNGMDR, sont rendus publics et disponibles sur internet. De plus, depuis la réunion du groupe de travail du mois de juin 2014, les supports de présentation et comptes rendus des réunions plénières sont mis en ligne sur les sites internet de l'ASN<sup>50</sup> et du ministère chargé de l'énergie<sup>51</sup>. Les études remises par les exploitants, qui étaient déjà transmises aux membres du groupe de travail du PNGMDR, ont également vocation à être publiées sous réserve qu'elles ne comportent pas d'éléments que les exploitants ne souhaitent pas divulguer pour des raisons de confidentialité justifiées.

Par ailleurs, la diffusion de l'évaluation environnementale du présent PNGMDR et de l'avis de l'autorité environnementale associé complétera l'information du public et permettra aussi de recueillir de manière élargie ses remarques.

En dernier lieu, les points de désaccord irréductible entre les membres du groupe de travail sont actés dans le PNGMDR.

---

<sup>50</sup> <http://www.asn.fr>.

<sup>51</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Energie-Air-et-Climat-.html>.

## 2 La gestion des matières radioactives

Une matière radioactive est définie comme une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement. L'utilisation de ces matières peut avoir lieu en France ou à l'étranger. Le PNGMDR 2016-2018 présente les modalités d'appréciation du caractère effectivement valorisable de ces matières, leurs flux et stocks aux différentes étapes du cycle du combustible ainsi que leurs filières de valorisation.

Les principales matières radioactives sont les suivantes :

- celles issues de la filière uranium/plutonium et constituées :
  - d'**uranium**, dont quatre sous-catégories peuvent être distinguées :
    - l'**uranium naturel**, à partir duquel l'usine d'enrichissement produit deux flux de substances : l'uranium enrichi et l'uranium appauvri ;
    - l'**uranium enrichi**, destiné essentiellement à la fabrication des combustibles pour la production d'électricité d'origine nucléaire ;
    - l'**uranium appauvri**, qui : sert à la fabrication du **combustible MOx** (Mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium) et peut alimenter 24 réacteurs électronucléaires exploités par EDF ; peut être, pour partie, ré-enrichi en isotope 235 et ainsi se substituer à de l'uranium naturel ; à plus long terme, pourrait être utilisé à grande échelle dans les éventuels réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération selon leurs concepteurs ;
    - l'**uranium de recyclage issu du traitement des combustibles usés (URT)**, qui peut, en fonction des conditions économiques, être ré-enrichi pour produire de l'**uranium de recyclage enrichi (URE)** utilisé pour la fabrication de combustibles URE pouvant alimenter, en France, les réacteurs de Cruas ;
  - de **plutonium** : contenu dans les assemblages de combustibles usés et extrait lors de leur traitement, il est utilisé pour la fabrication des combustibles MOx ;
  - des **combustibles usés**, dont le flux majoritaire est composé de combustibles usés à base d'oxyde d'uranium (UOx). La faisabilité technique du traitement de l'essentiel des combustibles usés présents sur le sol français est démontrée, mais seuls les combustibles UOx sont actuellement traités à échelle industrielle.
- le **thorium** : qui pourrait être utilisé dans différents types de réacteurs comme combustible dans un cycle thorium, mais pas avant plusieurs décennies au vu des travaux de recherche et développement encore nécessaires. D'autres applications sont en cours de développement, notamment pour le traitement de certains cancers ou pour son utilisation dans des réacteurs électronucléaires de technologie existante en complément du cycle uranium-plutonium.

**Le PNGMDR 2016-2018 demande que les scénarios prospectifs des prochaines éditions de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs soient davantage développés pour notamment prendre en compte les possibilités effectives de valorisation des matières en intégrant leurs interdépendances vis-à-vis des débouchés envisagés ou existants.**

Dans le cadre des études demandées par le PNGMDR 2013-2015, les propriétaires de matières radioactives ont fournis des études sur les options de gestion dans les cas où les matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets. **Le PNGMDR 2016-2018 demande que ces études soient approfondies par l'Andra, en lien avec les producteurs, pour l'uranium appauvri, l'URT et le thorium.**

## 2.1 Contexte et enjeux

Conformément aux dispositions de l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement, une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.

Le classement d'une substance radioactive dans cette catégorie est décidé par son propriétaire. L'État peut requalifier des matières en déchets si les perspectives de valorisation ne sont pas suffisamment établies. Ce choix est notamment fait en fonction de l'utilisation qui en est déjà faite ou des perspectives industrielles envisagées.

Les matières radioactives sont tout particulièrement destinées à être utilisées dans la filière électronucléaire et la démarche d'anticipation des besoins sur le cycle du combustible est essentielle au bon approvisionnement des centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) et à la gestion sûre des matières en attente d'utilisation. À ce titre, les producteurs veillent à assurer la disponibilité d'un stock suffisant et adapté de matières radioactives, la suffisance des capacités des installations destinées à entreposer ces matières ainsi que la nécessaire diversification des sources d'approvisionnement et des installations du cycle (conversion, enrichissement, fabrication et traitement des combustibles) pour pallier les aléas et défaillances opérationnelles pouvant interrompre la production. Des échanges de matières radioactives avec l'étranger ont ainsi lieu à plusieurs étapes du cycle du combustible, même lorsque la France en a la maîtrise<sup>52</sup>.

À ce jour, les principales catégories de matières radioactives identifiées sont l'uranium (naturel, appauvri, enrichi et de retraitement), les combustibles à base d'oxyde d'uranium (UOx et URE), les combustibles à base d'oxyde d'uranium et de plutonium (MOx, rebuts MOx et combustibles issus des réacteurs à neutrons rapides Superphénix et Phénix), les combustibles des réacteurs de recherche, le plutonium et le thorium. Les sources radioactives scellées (neuves ou usagées en attente de recyclage) peuvent également être considérées comme en faisant partie. L'Inventaire national présenté au paragraphe 1.1.4 de ce PNGMDR recense environ 350 000 t de matières radioactives à fin 2013 et en prévoit un stock de 510 000 t à fin 2030 (l'uranium appauvri représentant 80 % du stock en masse).

Afin d'assurer la cohérence d'ensemble du dispositif de gestion des matières radioactives, les besoins prévisibles d'installations d'entreposage sont recensés par le PNGMDR conformément à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement. Sur cette base, le plan précise les échéances de création ou de modification de ces installations, ainsi que leurs capacités nécessaires et les durées d'entreposage associées. Les éléments concernant le cycle du combustible sont également examinés de manière plus large par l'ASN dans un dossier dit « impact cycle »<sup>53</sup> qui présente la démarche de veille et d'anticipation sur le cycle du combustible visant notamment à en assurer la continuité.

De manière analogue, dans une perspective de sûreté et dans le respect des principes de prévention et de limitation des charges supportées par les générations futures qui sont prévus à l'article L. 542-1 du code de l'environnement, le devenir des substances radioactives considérées

---

<sup>52</sup> À titre d'exemple, EDF, tout en faisant majoritairement appel à AREVA, a des contrats avec Urenco (société d'enrichissement implantée aux Pays-Bas, en Angleterre et en Allemagne) et avec Tenex (société implantée en Russie) qui maîtrisent également les techniques d'enrichissement par ultracentrifugation.

<sup>53</sup> Les éléments relatifs au dossier « impact cycle 2007 » sont disponibles sur le site de l'ASN : <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « les appuis techniques », « les groupes permanents d'experts », « groupe permanent d'experts pour les déchets ». Ce dossier fera l'objet d'une actualisation en 2016.

comme des matières radioactives par leurs propriétaires doit être périodiquement examiné. Dans l'hypothèse où apparaîtraient des doutes sérieux concernant les possibilités de valorisation d'une substance radioactive, il est nécessaire d'assurer que les garanties nécessaires, notamment financières, sont mises en place pour la prise en charge de ces substances dans des filières de gestion dédiées jusqu'à leur stockage. Le cadre législatif permet notamment à l'État, après avis de l'ASN, de requalifier les matières radioactives en déchets radioactifs<sup>54</sup>. Des études<sup>55</sup> sont également périodiquement demandées pour étudier, à titre conservatoire, les filières possibles de gestion dans le cas où les matières seraient à l'avenir requalifiées en déchets, principalement dans l'hypothèse où les programmes électronucléaires ne seraient poursuivis ni en France ni à l'étranger.

Une réévaluation du caractère effectivement valorisable des matières radioactives a été demandée au titre du PNGMDR 2013-2015 et du décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 établissant ses prescriptions. Les propriétaires de matières radioactives, Areva, le CEA, EDF et Solvay, ont remis leur mise à jour des procédés de valorisation envisagés<sup>56</sup>, en apportant notamment leur analyse de l'adéquation entre les perspectives de valorisation et les quantités détenues et à détenir. Ces éléments ont fait l'objet d'un avis par l'ASN et l'ASND<sup>57</sup> destiné à servir de support aux recommandations et perspectives du présent plan sur ce sujet.

Le présent chapitre détaille par ailleurs les filières de gestion actuelles ou envisagées des matières radioactives détenues sur le sol français. Il dresse l'état des lieux des flux et stocks de ces matières, en précisant notamment les capacités supplémentaires en entreposages qui sont nécessaires pour répondre aux besoins prévisibles de croissance des stocks. Il décrit les critères à prendre en compte pour évaluer le caractère valorisable de ces matières et présente les conclusions résultant de la réévaluation menée au titre du PNGMDR 2013-2015.

### 2.1.1 Présentation du cycle du combustible

En France, EDF exploite un parc standardisé de 58 réacteurs REP (réacteurs à eau pressurisée). Ces réacteurs sont approvisionnés en combustible sous forme d'oxyde d'uranium, légèrement enrichi en isotope 235 ou sous forme de mélange d'oxydes de plutonium et d'uranium. En moyenne, le combustible alimente le réacteur pendant 3 à 5 ans et sa gestion est fractionnée. Tous les 12 à 18 mois, le combustible est déchargé : les éléments les plus anciens sont remplacés

---

<sup>54</sup> Cf. Article L. 542-13-2 du code de l'environnement.

<sup>55</sup> Les travaux remis dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 ont concerné l'uranium appauvri, l'URT et le thorium. Des travaux complémentaires sur ces substances sont attendus avant fin 2019 en application des orientations du présent PNGMDR.

<sup>56</sup> À l'exclusion des procédés portant sur les matières nucléaires affectées aux moyens nécessaires à la mise en œuvre de la politique de dissuasion mentionnée à l'article L. 1333-1 du code de la défense, conformément aux prescriptions du PNGMDR 2013-2015.

Le rapport remis par Areva, le CEA, EDF et Solvay dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

<sup>57</sup> L'avis n° 2016-AV-0256 de l'ASN du 9 février 2016 sur l'évaluation du caractère effectivement valorisable des matières radioactives est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ». L'ASND a rendu son avis le 29 avril 2016.

par des neufs et les autres éléments sont repositionnés dans le cœur du réacteur après rechargement.

Le **cycle du combustible** désigne l'ensemble des opérations industrielles associées à la fourniture des assemblages de combustibles nucléaires neufs pour la production électronucléaire (amont du cycle) et à la gestion de ces derniers après leur irradiation en réacteur (aval du cycle). L'amont du cycle comprend : l'approvisionnement en uranium naturel (mines), les services de conversion (ou fluoration), d'enrichissement et de fabrication des éléments combustible, ainsi que la logistique associée. L'aval du cycle englobe : l'entreposage des combustibles usés, leur traitement, la fabrication des combustibles à partir des matières séparées, ainsi que la logistique associée et la gestion des déchets ultimes à vie longue résultant du traitement.

#### *En amont du cycle*

L'**approvisionnement en uranium naturel** par l'exploitation des gisements d'uranium s'effectue selon les méthodes classiques d'extraction minière. Le minerai d'uranium extrait des mines (souterraines, à ciel ouvert ou par lixiviation *in situ*) est traité chimiquement (concentration et purification) et mis sous la forme d'un concentré solide d'uranium contenant 70 à 80 % d'uranium (uranates ou oxydes), communément appelé « yellow cake ».

L'opération de **conversion** consiste à transformer les concentrés d'uranium naturel en hexafluorure d'uranium ( $UF_6$ ), une forme chimique nécessaire pour l'étape d'enrichissement avec le procédé utilisé (centrifugation). Cette opération est réalisée en France en deux étapes : d'abord sur le site d'Areva NC Malvési où les concentrés de minerais d'uranium sont finement purifiés et convertis en tétrafluorure d'uranium ( $UF_4$ ), puis sur le site de Tricastin où l' $UF_4$  acheminé est transformé en  $UF_6$ .

L'étape d'**enrichissement** isotopique de l'uranium consiste à porter la concentration naturelle en uranium 235 de 0,71 % à une valeur comprise entre 3 et 6 %. En sortie des installations d'enrichissement, deux fractions sont récupérées : l'uranium enrichi et l'uranium appauvri dont la teneur en uranium 235 (également appelée soutirage pauvre) oscille usuellement entre 0,2 et 0,3 % suivant des paramètres liés au coût de l'enrichissement et au coût de la matière.

L'étape de **fabrication des éléments combustibles**, se compose des opérations unitaires suivantes : déconversion thermique (transformation de l' $UF_6$  en  $UO_2$ ), pastillage thermique (compactage et frittage), crayonnage et assemblage.

Pour chaque étape de l'amont, EDF fait appel à plusieurs fournisseurs. Les usines françaises de l'amont aujourd'hui exploitées, notamment pour les besoins d'EDF, sont les deux usines de conversion implantées sur les sites de Malvési et du Tricastin, l'usine d'enrichissement GB2 de la SET (Société d'enrichissement du Tricastin) sur le site du Tricastin et l'usine de fabrication de Romans-sur-Isère exploitée par Areva NP.

Conformément aux orientations<sup>58</sup> données par l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, EDF pratique le traitement-recyclage d'une partie des combustibles usés qu'il produit sur le territoire français pour récupérer la matière fissile (uranium et plutonium) qu'ils contiennent (96 %) en vue de la valoriser sous la forme de nouveaux combustibles.

Le **traitement** des assemblages de combustibles usés consiste en un ensemble d'opérations mécaniques et chimiques dont l'objectif est de séparer et d'extraire les matières valorisables (uranium et plutonium) du reste des éléments (produits de fission, actinides mineurs et matériaux métalliques constitutifs de la structure des assemblages) qui sont dûment conditionnés et constituent des déchets ultimes. Le traitement des combustibles d'EDF est réalisé dans les deux usines d'Areva NC du site de La Hague (UP2-800 et UP3-A), en sortie desquelles sont obtenus : le plutonium sous la forme de  $\text{PuO}_2$ , l'uranium de recyclage issu du traitement (URT) sous la forme de nitrate d'uranyle<sup>59</sup> et des résidus ultimes destinés à être stockés.

Le **recyclage** des combustibles usés consiste en la valorisation des matières radioactives qu'ils contiennent (uranium et plutonium) pour servir à la fabrication de nouveaux produits combustibles qui peuvent être à base d'oxyde d'uranium et de plutonium (combustible MOx) ou à base d'uranium de recyclage ré-enrichi (URE). En 2015, sur les 58 réacteurs du parc en France, 24 tranches<sup>60</sup> de 900 MW sont autorisées à fonctionner avec du combustible MOx dont la fabrication est réalisée à l'usine MELOX d'Areva NC sur le site de Marcoule. Seules les 4 tranches 900 MW de la centrale nucléaire de Cruas peuvent fonctionner avec du combustible URE, mais EDF a suspendu ce recyclage depuis 2013.

**L'entreposage en attente d'une solution définitive de stockage** concerne les déchets ultimes issus du procédé de traitement des combustibles usés dans les usines de la Hague :

- les matériaux métalliques constitutifs de la structure de l'assemblage du combustible usé (coques et embouts) sont isolés, décontaminés puis compactés en ligne et conditionnés sous la forme de colis standards de déchets compactés (CSD-C) ;
- les solutions de haute activité, contenant les produits de fission et les actinides mineurs, séparés de l'uranium et du plutonium, sont concentrées, calcinées, puis vitrifiées et conditionnées en colis standards de déchets vitrifiés (CSD-V).

Ces déchets (CSD-C et CSD-V) sont des déchets à vie longue et sont actuellement entreposés sur le site de La Hague dans des installations dédiées, dans l'attente d'une solution définitive de stockage.

---

<sup>58</sup> La réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs doit être recherchée notamment par le traitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs.

<sup>59</sup> Le nitrate d'uranyle est converti sous la forme d'un composé solide et stable  $\text{U}_3\text{O}_8$  dans l'atelier TU5 d'AREVA sur le site du Tricastin puis entreposé sur ce site en attente d'une utilisation ultérieure envisagée par EDF.

<sup>60</sup> Ces réacteurs peuvent contenir jusqu'à 30 % de combustible MOx, le reste étant constitué d'assemblages combustibles classiques à base d'oxyde d'uranium. Le combustible MOx est obtenu par mélange de  $\text{PuO}_2$  à une matrice  $\text{UO}_2$  réalisée à partir d'uranium appauvri ; la poudre est ensuite pastillée, crayonnée puis assemblée selon un procédé sensiblement équivalent à celui de la fabrication des assemblages « classiques » en oxyde d'uranium. Le MOx contient environ 8,5 % de plutonium et 91,5 % d'uranium appauvri. Il produit la même énergie qu'un combustible « classique » en oxyde d'uranium.

**L'entreposage de matières radioactives** dans l'attente de leur valorisation concerne les combustibles usés UOx, URE et MOx, ainsi que l'uranium appauvri<sup>61</sup> et l'URT. Les perspectives de valorisation de ces matières sont présentées au chapitre 2.2 de cette partie.

Les ordres de grandeurs des flux annuels de matières et de déchets radioactifs intervenant dans le cycle français du combustible sont indiqués dans le tableau ci-après.

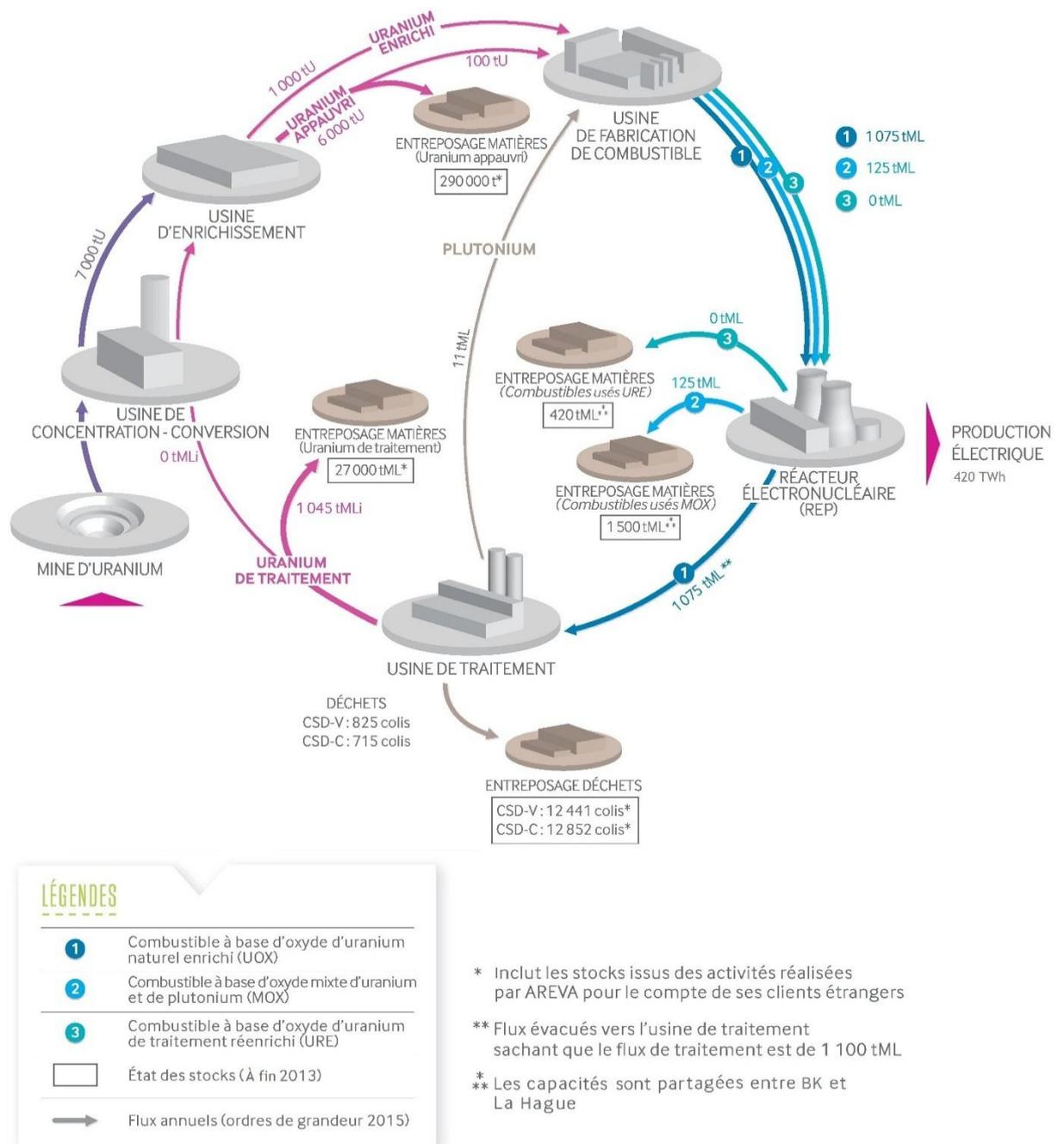
<b>Ordre de grandeur des flux annuels du cycle français<sup>62</sup> à partir de 2015</b>	
Uranium naturel	~ 7 000 tU
Uranium enrichi	~ 1 000 tU
Uranium appauvri	~ 6 000 tU
Combustibles UOx chargés	1 075 t <sub>ML</sub>
Combustibles MOx chargés	125 t <sub>ML</sub>
Production électrique nucléaire	420 TWh
Combustibles usés déchargés	1 200 t <sub>MLi</sub>
Flux de traitement UNE	1 100 t <sub>MLi</sub>
Plutonium recyclé	11 t <sub>ML</sub>
URT	1 045 tU
CSD-C	715 colis
CSD-V	825 colis

Toutes les étapes du cycle du combustible, dont l'ensemble est résumé dans le schéma ci-après, sont étroitement liées : ainsi, chacune de ces opérations doit être prévue et réalisée de manière à être compatible avec les suivantes et à permettre une optimisation d'ensemble.

<sup>61</sup> Le stock d'uranium appauvri est constitué dans la partie amont du cycle, lors de l'étape d'enrichissement de l'uranium.

<sup>62</sup> Les flux annuels n'intègrent pas l'ensemble des activités réalisées par AREVA pour le compte de ses clients étrangers (hors EDF) ni les flux liés aux réacteurs de recherche (cf. paragraphe 2.2.4)

## Les modes de gestion actuels des matières et déchets radioactifs produits par le secteur électronucléaire



### 2.1.2 État des lieux des flux et stocks de matières

Des échanges de matières radioactives avec l'étranger ont lieu à plusieurs étapes du cycle du combustible. La France ayant cessé depuis 2001 l'exploitation des mines d'uranium sur le territoire national, son approvisionnement en uranium naturel se fait exclusivement à l'international. L'uranium naturel est réparti de façon assez homogène sur la surface du globe, ce qui permet une diversification importante des sources d'approvisionnement. Ainsi, les opérateurs nucléaires français s'approvisionnent principalement auprès du Kazakhstan, du Niger, du Canada, de l'Australie et de l'Ouzbékistan. En outre, Areva NC a acquis des droits de propriété sur

plusieurs gisements d'uranium (Canada, Niger, Kazakhstan...). Le stock d'uranium appauvri détenu en France par Areva peut également être ré-enrichi au besoin pour la fabrication de combustibles UOx. Ce stock représente un équivalent en uranium naturel de l'ordre de 50 000 t ce qui correspond à environ 7 années de fonctionnement du parc de réacteurs électronucléaires exploité par EDF<sup>63</sup>.

EDF a diversifié ses fournisseurs à chacune des étapes du cycle du combustible afin notamment de sécuriser son approvisionnement en combustible. Pour éviter toute rupture d'approvisionnement, EDF, tout en faisant appel à Areva, a des contrats avec Converdyn (USA), Cameco (Canada) et Tenex (Russie) pour la conversion de l'uranium, avec Urenco (Pays-Bas, Royaume-Uni et Allemagne) et Tenex (Russie) pour l'enrichissement et avec Westinghouse (USA - Japon) pour la fabrication du combustible. Cette politique de diversification induit des échanges de matières (uranium naturel, appauvri et enrichi) avec l'étranger.

Les flux de plutonium reflètent l'activité commerciale d'Areva à l'usine de la Hague. Ils traduisent, d'une part, l'arrivée de combustibles usés à l'usine de La Hague dans le cadre de contrats de retraitement passés entre Areva et ses clients étrangers et, d'autre part, l'expédition de combustibles MOx à ces mêmes clients.

Les flux de thorium sont liés à l'activité de l'entreprise Solvay.

En 2009, le ministre chargé de l'énergie et l'HOPECST ont saisi le HCTISN sur la question des échanges internationaux liés au traitement de l'uranium en vue de recueillir son avis sur la gestion des matières et des déchets radioactifs produits aux différents stades du cycle du combustible.

Le HCTISN a remis son rapport en juillet 2010<sup>64</sup>. Ce dernier présente une analyse détaillée du cycle du combustible tel qu'il existait en France alors. Il indique les flux et stocks de matières et de déchets produits aux différents stades du cycle du combustible, ainsi que les conditions d'entreposage et de transport de l'uranium appauvri et de l'uranium de recyclage issus du traitement des combustibles usés, tout en exposant les enjeux liés à l'approvisionnement en uranium et la politique de la France pour sécuriser cet approvisionnement dans un contexte international. La dernière partie de ce rapport est consacrée à la qualité de l'information délivrée aux citoyens. Enfin, le Haut Comité formule des recommandations visant à améliorer la transparence et la qualité de l'information apportée aux citoyens.

En application des recommandations formulées par le HCTISN<sup>65</sup>, le ministère chargé de l'énergie adresse chaque année au Haut Comité un état des lieux des flux et des stocks de matières produits aux différents stades du cycle du combustible. Ces données sont synthétisées dans les tableaux ci-après pour ce qui concerne les échanges transfrontaliers de matières. Les variations interannuelles que l'on peut observer sont pour partie des variations conjoncturelles, liées entre autres à la nature de l'exercice. En effet, ce bilan fige l'état des flux à la date du 31 décembre de chaque année et peut donc faire apparaître des variations importantes si certaines opérations industrielles sont à cheval sur deux années consécutives.

Les grandes tendances observables sur les dernières années peuvent s'expliquer par trois facteurs principaux : l'arrêt des contrats d'Areva NC avec Tenex, la fin de l'activité du site de FBFC à Dessel en Belgique et la fin des échanges entre Eurodif et les différents sites d'Urenco.

---

<sup>63</sup> Sur la base d'un besoin annuel de 7 000 t en uranium naturel.

<sup>64</sup> Le rapport complet du HCTISN est disponible sur internet : <http://www.hctisn.fr>, rubrique « les avis et rapports du Haut Comité ».

<sup>65</sup> Recommandation n°5 figurant dans l'avis rendu le 12 juillet 2010 par le HCTISN.

Ainsi, l'arrêt progressif depuis 2010 des contrats d'Areva NC avec l'entreprise russe Tenex permet d'expliquer la baisse significative des exportations d'uranium appauvri. En effet, en 2010 Eurodif (filiale d'Areva) exportait environ 4 000 t d'uranium appauvri vers Tenex et ce contrat a été complètement arrêté en 2014.

L'arrêt de ces contrats explique également pour partie la baisse des échanges d'uranium légèrement enrichi. En effet, entre 2010 et 2011, les livraisons par la Russie à Eurodif d'uranium légèrement enrichi ont diminué de manière significative, passant d'environ 500 t à moins de 100 t et les exportations vers la Russie sont passées d'environ 600 t en 2010 à 0 t en 2011.

La baisse des exportations d'uranium légèrement enrichi s'explique également par la diminution progressive de celles d'Eurodif vers plusieurs de ses partenaires : moins 200 t entre 2010 et 2011 vers l'usine de Lingen en Allemagne, diminution régulière du contrat avec l'usine de Westinghouse à Springfields au Royaume-Uni de 50 t par an depuis 2010, cessation des livraisons vers les États-Unis entre 2011 et 2012 (environ 200 t).

Cette baisse s'explique enfin par l'arrêt des échanges de matières entre les sites de Romans-sur-Isère et de Dessel en Belgique, Areva ayant envisagé en 2011 la fermeture du site de Dessel. L'arrêt de ces échanges contribue pour plus de 200 t à la baisse observée entre 2011 et 2012.

Par ailleurs, il faut noter une diminution des échanges entre les sites d'Areva et les sites d'Urenco aux Pays-Bas et en Allemagne. Ainsi, les exportations d'uranium naturel de Comurhex vers ces sites diminuent progressivement depuis 2012 : ils sont passés d'environ 2 000 t en 2012 à environ 1 000 t en 2013 avec le site allemand d'Urenco, et d'environ 3 000 t en 2013 à 0 t avec le site néerlandais. Ces contrats étaient progressivement montés en puissance entre 2008 et 2012, ce qui explique un niveau élevé d'exportations d'uranium naturel en 2010 et 2011 (environ 8 300 t), pour atteindre aujourd'hui un niveau significativement plus bas.

On peut rapprocher cette baisse des exportations d'uranium naturel avec la baisse des retours d'uranium appauvri et d'uranium légèrement enrichi qui s'observe sur la même période. En effet, les contrats de livraisons d'uranium appauvri d'Eurodif avec le site allemand d'Urenco se sont achevés en 2013 (soit moins 900 t d'importations par rapport à 2012) et les contrats du site de Pierrelatte (Eurodif fermant et GB2 démarrant sur cette période) avec les sites allemands et néerlandais d'Urenco ont fortement diminué entre 2012 et 2013 (le volume global échangé est passé d'environ 7 500 t à 4 500 t). Ces contrats expliquent la baisse de près de 4 000 t des importations d'uranium appauvri que l'on peut observer entre 2012 et 2013.

Concernant l'uranium légèrement enrichi, les contrats d'Eurodif avec les sites d'Urenco au Royaume-Uni et aux Pays-Bas se sont achevés en 2012, contribuant pour environ 230 t à la baisse des importations entre 2011 et 2012.

Il est enfin à noter un approvisionnement exceptionnel de Cerca par les États-Unis en uranium hautement enrichi (200 kg) en 2012. Le flux des importations a retrouvé son niveau habituel en 2013.

Exportations						
Matière valorisable	Données de référence		Données 2012 et 2013		Actualisation des données à fin 2014	
	Années 2006-2011 : total des exportations		Total des exportations en 2012 (en tonnes)	Total des exportations en 2013 (en tonnes)	Années 2006-2013 : total des exportations	
	Cumul 2006-2011 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)			Cumul 2006-2013 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)
Uranium appauvri	45 599	7 600	3 848	5 511	54 958	6870
Uranium naturel	37 550	6 258	6 021	5 151	48 722	6 090
Uranium légèrement enrichi	10 437	1 740	726	420	11 583	1 448
Uranium hautement enrichi	2	0	0,1	0,1	2,2	0,3
Plutonium	12	2	1,2	4,2	17,4	2,2
Thorium	16	3	1,8	1,8	19,6	2,5

Importations						
Matière valorisable	Données de référence		Données 2012 et 2013		Actualisation des données à fin 2014	
	Années 2006-2011 : total des importations		Total des importations en 2012 (en tonnes)	Total des importations en 2013 (en tonnes)	Années 2006-2013 : total des importations	
	Cumul 2006-2011 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)			Cumul 2006-2013 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)
Uranium appauvri	31 719	5 287	8 631	4 725	45 075	5 634
Uranium naturel	63 934	10 656	11 559	9 969	85 462	10 683
Uranium légèrement enrichi	10 329	1 722	1 201	1 130	12 660	1 583
Uranium hautement enrichi	0	0	0,2	ns <sup>66</sup>	0,2	ns
Plutonium	2	0,3	0,3	0,4	2,7	0,3
Thorium	0	0	0	0	0	0

*Bilan des exportations et importations directes avec l'ensemble des pays concernés par l'industrie nucléaire (sources : rapport du HCTISN sur la transparence du cycle et données transmises annuellement par la DGEC au HCTISN en vue de l'actualisation de ce rapport)*

### 2.1.3 Modalité d'évaluation du caractère valorisable des matières

Comme précisé au paragraphe 1.1.1, l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement dispose qu'une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.

Toutefois, afin d'assurer une gestion responsable et sûre des déchets radioactifs et éviter que des substances radioactives ne soient considérées de manière induite comme des matières radioactives, au risque de faire incomber la charge de leur gestion aux générations futures, des critères

<sup>66</sup> ns = non significatif

d'appréciation du caractère effectivement valorisable des matières radioactives détenues sur le territoire français sont nécessaires.

Il est ainsi considéré que :

- l'utilisation des matières radioactives peut être immédiate ou différée mais doit être en tout état de cause fondée sur des hypothèses raisonnablement probables ;
- les utilisations potentielles hors de France peuvent être prises en compte, mais il convient alors aussi de tenir compte de l'ensemble des substances similaires disponibles sur le marché mondial ;
- le caractère raisonnablement valorisable d'une substance radioactive dépend non seulement de la maîtrise technique de son procédé de valorisation mais également des conditions économiques prévisibles, des conditions socio-politiques de sa mise en œuvre et de l'adéquation entre la quantité détenue, son flux de production et les flux prévisionnels de consommation ;
- les conditions de valorisation d'une substance radioactive peuvent ne pas être identiques suivant sa teneur, sa forme chimique, son isotopie ou son association avec d'autres substances et qu'à ce titre des lots caractéristiques dont les conditions de valorisation sont homogènes devraient être définis lorsque les formes détenues peuvent présenter des divergences ;
- l'appréciation des possibilités effectives de valorisation d'une substance radioactive doit tenir compte d'éventuelles incompatibilités avec les modalités envisagées pour la valorisation d'autres substances radioactives.

Le statut de matière radioactive dépend donc essentiellement du caractère techniquement valorisable de la substance, mais également de la stratégie industrielle du propriétaire et de la politique énergétique (notamment française) pour sa valorisation effective. Les conditions de valorisation des matières radioactives nécessitent d'être périodiquement revues en fonction notamment des inflexions de la politique énergétique ou des avancées techniques.

L'article L. 542-13-2 du code de l'environnement dispose, qu'après avis de l'ASN, l'État peut requalifier des matières radioactives en déchets radioactifs si les perspectives de valorisation de ces matières ne sont pas suffisamment établies. Il peut également annuler cette requalification dans les mêmes formes.

## ***2.2 Filières de gestion***

La présente section détaille par type de matière radioactive :

- les modalités actuelles d'utilisation des matières radioactives détenues sur le sol français, avec l'état des lieux des entreposages et le recensement des besoins prévisibles permettant de répondre aux perspectives de croissance des stocks ;
- les perspectives de valorisation envisagées par les détenteurs de matières radioactives, ainsi que l'appréciation de l'effectivité de ces perspectives au regard des critères présentés au paragraphe 2.1.3.

Elle présente également les considérations concernant les interactions entre filières de valorisation.

De manière synthétique, la situation des matières radioactives détenues et les possibilités techniques de valorisation sont les suivants :

Nature des matières	Ordre de grandeur de la quantité sur le sol français à fin 2013 <sup>67</sup> en tML*	Usages prévus ou envisagés
Uranium naturel et enrichi	28 800	Utilisation industrielle établie pour la fabrication de combustibles UOx et MOx
Uranium appauvri	290 000	Utilisation en l'état établie pour la fabrication de combustible MOx. Valorisation par ré-enrichissement réalisée, faisabilité de son utilisation dans les réacteurs de 4 <sup>ème</sup> génération à neutrons rapides démontrée à l'échelle industrielle
Uranium de recyclage issu du traitement des combustibles usés	27 000	Utilisation industrielle établie pour l'URT issu du traitement des combustibles UOX usés (recyclage en combustible URE)
Combustibles à base d'oxyde d'uranium (neufs, en cours d'utilisation, en attente de traitement)	17 040	Usage industriel établi pour les combustibles neufs UOx et URE. Traitement et valorisation à l'échelle industrielle établie des combustibles UOx usés. Faisabilité du traitement des combustibles URE usés démontrée à l'échelle industrielle en vue d'un recyclage dans les réacteurs de 4 <sup>ème</sup> génération à neutrons rapides.
Combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (rebut de fabrication, neufs, en cours d'utilisation, en attente de traitement)	2 378	Après utilisation du combustible neuf, faisabilité démontrée à l'échelle industrielle du traitement en vue du recyclage dans les réacteurs de 4 <sup>ème</sup> génération à neutrons rapides
Combustibles des réacteurs de recherche (neufs, en cours d'utilisation, en attente de traitement)	75,4	Après utilisation du combustible neuf, faisabilité du traitement démontrée pour la majorité de ces combustibles mais de nouvelles installations sont nécessaires. Le recyclage est prévu dans des réacteurs de 4 <sup>ème</sup> génération à neutrons rapides.
Combustibles de la défense nationale	156	Après utilisation du combustible neuf, faisabilité du traitement en vue du recyclage démontrée pour l'essentiel des combustibles mais de nouvelles installations sont nécessaires
Plutonium	52	Utilisation industrielle établie pour le plutonium issu du traitement des combustibles UOx usés (recyclage en combustible MOx)
Thorium	8 500	Expérience industrielle significative de traitement des substances thorifères. Développement industriel en cours pour les besoins de la médecine. Utilisation envisagée pour la production d'énergie selon deux orientations : (i) transition vers un cycle thorium au sein de réacteurs dédiés, ou (ii) introduction dans les réacteurs de technologie existante en complément du cycle uranium-plutonium

*Matières valorisable, quantités et statut de la valorisation associés -\*tML : tonne de métal lourd*

<sup>67</sup> Données de l'édition 2015 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs.

## 2.2.1 L'uranium (naturel, appauvri, enrichi et de retraitement)

*Uranium naturel, appauvri, enrichi*

### Modalités d'utilisation

L'uranium enrichi et l'uranium appauvri sont issus des usines d'enrichissement de l'uranium, qui produisent deux flux de substances : d'une part, de l'uranium enrichi en isotope 235 à une teneur généralement comprise entre 3 et 5 % servant à la fabrication des combustibles et, d'autre part, de l'uranium appauvri en isotope 235 avec une teneur de l'ordre de 0,2 à 0,3 %.

Environ 1 000 t d'uranium enrichi sont utilisées chaque année en tant que combustibles pour la production d'électricité d'origine nucléaire française. Pour produire cette quantité d'uranium enrichi, environ 7 000 t d'uranium naturel sont nécessaires, ce qui génère conjointement de l'ordre de 6 000 t d'uranium appauvri. S'ajoute à ce flux annuel, environ 1 500 t d'uranium appauvri produit pour l'enrichissement d'uranium pour des clients étrangers. En pratique, l'enrichisseur devient propriétaire de l'uranium appauvri. Areva prend ainsi la possession de l'uranium appauvri issu de l'uranium qu'il enrichit, que ce soit de l'uranium EDF ou d'un client étranger (américain, allemand, coréen...).

### État des lieux des entreposages

L'uranium appauvri est entreposé sur les sites du Tricastin et de Bessines-sur-Gartempe sous forme d'oxyde conditionné dans des conteneurs. Actuellement 5 bâtiments sont en service sur le site du Tricastin et 9 sur celui de Bessines. Ces installations relèvent du régime des ICPE et des garanties financières sont imposées afin d'assurer la surveillance des sites, le maintien en sécurité des installations, ainsi que les interventions éventuelles en cas d'accident<sup>68</sup>.

Le concept d'entreposage d'Areva est modulaire : des extensions de capacité par la mise en service de nouveaux bâtiments sont techniquement possibles. Selon Areva, la saturation des capacités actuelles ne devrait cependant pas intervenir avant 2022. Ces extensions sont soumises à autorisation selon une procédure d'une durée d'environ 2 à 3 ans. La construction, après autorisation par les autorités compétentes d'un module (bâtiment) complémentaire, ne requiert que quelques mois d'après Areva. Une marge est cependant nécessaire pour prévenir les aléas techniques et administratifs susceptibles d'intervenir dans le processus de conception, de construction et d'autorisation des capacités d'entreposage.

**R1 – AREVA doit prendre les dispositions nécessaires permettant d'assurer la disponibilité de nouvelles capacités d'entreposage pour l'uranium appauvri au regard des perspectives de croissance des stocks, en tenant notamment compte des délais d'instruction pour les autorisations administratives nécessaires.**

**R2 – Au regard des informations disponibles quant à la saturation des capacités actuelles d'entreposage, il convient à cette fin qu'AREVA dépose une demande d'extension des capacités d'entreposage d'uranium appauvri au plus tard le 31 décembre 2017.**

**I1 – Taux de remplissage des entreposages d'uranium appauvri.**

<sup>68</sup> Arrêté du 23 juin 2015 relatif aux installations mettant en œuvre des substances radioactives, déchets radioactifs ou résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium soumises à autorisation au titre de la rubrique 1716, de la rubrique 1735 et de la rubrique 2797 de la nomenclature des installations classées.

## Perspectives de valorisation

Le stock français d'uranium appauvri s'élève à 290 000 t à fin 2013. Sa croissance annuelle résultant des flux de production/consommation est de l'ordre de 7 000 t mais pourrait être réduite dans le cas où les trois filières principales de valorisation de cette substance envisagées par Areva seraient mises en œuvre.

L'uranium appauvri est utilisé régulièrement depuis plusieurs années comme produit de base du combustible à base de d'oxyde d'uranium et de plutonium (combustible « MOx ») élaboré dans l'usine MELOX à Marcoule. Son flux de consommation via cette filière n'est toutefois que de l'ordre d'une centaine de tonnes par an.

En fonction du cours de l'uranium naturel, l'uranium appauvri peut également être ré-enrichi et s'y substituer<sup>69</sup>. Les 290 000 t d'uranium appauvri détenues à fin 2013 pourraient par ré-enrichissement donner un stock équivalent à environ 50 000 t d'uranium naturel<sup>70</sup>. Le scénario d'évolution des prix présenté par Areva, établi sur la base d'une hypothèse de croissance de la production mondiale d'énergie nucléaire de 50 % en 2030 par rapport à 2013, prévoit le retour de la compétitivité économique du ré-enrichissement autour de 2020. Celui-ci conduit toutefois à produire majoritairement de l'uranium « plus appauvri » dont le taux d'enrichissement est de 0,1 à 0,2 %<sup>71</sup> et qui, sous un certain seuil (estimé aujourd'hui autour de 0,1 %), ne peut plus être valorisé par cette voie.

À plus long terme, les stocks d'uranium appauvri pourraient être valorisés à grande échelle dans des réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides, dont le déploiement pourrait être décidé dans la seconde moitié du siècle. Ce type de réacteurs pouvant en effet tirer pleinement partie du potentiel énergétique de l'isotope 238 de l'uranium (cf. paragraphe 2.3) et valoriser ainsi tout ou partie du stock français d'uranium appauvri. Dans le cadre des études remises au titre du PNGMDR 2013-2015, il ressort que le stock français représenterait un équivalent de l'ordre de 1 000 à 10 000 ans de fonctionnement d'un parc de 4<sup>ème</sup> génération à neutrons rapides d'une puissance de 60 GWe dans un scénario comprenant l'introduction des premiers réacteurs en 2040 suivi d'une montée en puissance jusqu'en 2100<sup>72</sup>.

D'autres pistes de valorisation secondaires, déjà mises en œuvres, comme la fabrication de protections biologiques, ou à investiguer : applications utilisant les propriétés de densité de l'uranium, utilisation dans les batteries, etc. sont également envisagées, mais elles ne sont pas de nature, en l'état des connaissances, à pouvoir valoriser à elles seules l'intégralité du stock français d'uranium appauvri.

Au regard de ces perspectives et procédés de valorisation, qui sont présentés plus en détail dans l'étude remise par les propriétaires d'uranium appauvri dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, l'ASN considère, dans son avis du 9 février 2016, que la possibilité technique de l'utilisation de cette substance est confirmée par le retour d'expérience, mais que la partie non valorisable du stock dans un parc de réacteurs à neutrons thermiques devrait être requalifiée en déchet de

---

<sup>69</sup> Les conditions économiques de 2007 et 2008 étaient favorables pour une telle valorisation à l'échelle industrielle : 7 800 t d'uranium appauvri ont ainsi été utilisées en France pour obtenir l'équivalent de 1 800 t d'uranium naturel.

<sup>70</sup> Par comparaison, la demande « brute » mondiale exprimée en équivalent uranium naturel était d'environ 66 000 tU en 2014.

<sup>71</sup> De nouvelles technologies telles que l'enrichissement par laser, pourraient à terme permettre une séparation plus poussée atteignant des taux inférieur à 0,1 %, améliorant ainsi quelque peu le rendement de l'opération.

<sup>72</sup> Chaque année de décalage par rapport au jalon de 2040 pour la mise en service du premier réacteur de 4<sup>ème</sup> génération se traduisant par ailleurs par un allongement de l'ordre de 20 à 160 ans sur ces durées.

manière conservatoire et bénéficier d'une sécurisation des fonds nécessaires à sa gestion de long terme.

### Options de gestion si l'uranium appauvri était requalifié en déchets

L'activité massique actuelle de l'uranium appauvri est estimée par Areva à 40 000 Bq/gU, avec un pic radiologique (environ 110 000 Bq/gU) qui devrait être atteint au bout de trois millions d'années après sa production. Ces caractéristiques, dont notamment l'activité de l'uranium au bout de 300 ans, ne permettent pas d'envisager son stockage dans les centres existants.

Une étude menée par Areva dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 concluait que les caractéristiques suffisantes du milieu géologique pour le stockage de l'uranium appauvri étaient globalement similaires à celles recherchées pour le stockage des déchets FA-VL. En application du PNGMDR 2013-2015, Areva doit approfondir la réflexion à ce sujet en fournissant des évaluations de l'impact radiologique et chimique pour des scénarios d'évolution normale ou altérée, dans le respect des orientations de sûreté édictées par l'ASN.

**R3 – Afin d'apprécier les conséquences d'une éventuelle requalification de tout ou partie des stocks d'uranium appauvri de déchet radioactif, l'Andra, capitalisant sur les connaissances acquises dans le cadre des projets de stockage à l'étude, devra réaliser avant fin 2019 une étude de faisabilité d'un concept de stockage, en indiquant le coût associé, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par ses détenteurs. L'Andra présentera également l'impact potentiel de ces quantités de déchets sur les filières de stockage en projet.**

### *Uranium de retraitement*

#### Modalités d'utilisation

L'uranium de retraitement, également nommé uranium de recyclage issu du traitement (URT), est extrait des combustibles usés à base d'oxyde d'uranium dont il y constitue environ 95 % de la masse. L'URT présent sur le territoire français est principalement propriété d'EDF, d'Areva et, dans une moindre mesure, du CEA. Sa valeur énergétique dans les réacteurs exploités par EDF lorsqu'il est ré-enrichi est comparable à celle de l'uranium naturel enrichi.

L'URT est récupéré dans les usines de traitement-recyclage sous forme de nitrate d'uranyle. Il est oxydé et entreposé sous forme d' $U_3O_8$  dans les installations du site Areva NC du Tricastin en attente de sa valorisation. L'opportunité de sa valorisation dépend notamment de l'attractivité économique de l'URT par rapport à l'uranium naturel, de son rôle dans la sécurisation des approvisionnements et de l'existence d'installations permettant de l'utiliser.

Cet uranium de traitement peut être envoyé vers une usine d'enrichissement, pour produire de l'uranium de recyclage enrichi (URE) utilisé pour la fabrication dans l'usine d'Areva NP à Romans-sur-Isère de combustibles nucléaires destiné aux réacteurs à eau légère. De 1994 à 2013, sur les 1 000 t d'URT produites chaque année dans les usines de la Hague, de 300 à 600 t étaient annuellement ré-enrichies et alimentaient les quatre réacteurs de Cruas en substitution à l'uranium naturel.

Jusqu'à présent, le ré-enrichissement de l'URT français a été effectué à l'étranger (Russie et Pays-Bas), car la technologie mise en œuvre dans l'installation George Besse I ne le permettait pas : elle était dédiée exclusivement à l'enrichissement de l'uranium naturel. L'usine Georges Besse II, qui l'a remplacée, est basée sur une technologie d'enrichissement isotopique différente (ultracentrifugation) et est autorisée, sous réserve d'un accord de l'ASN, à enrichir de l'URT dans un des modules de l'unité nord. Areva indique qu'au regard des besoins industriels exprimés par ses clients il n'est pas prévu de faire une telle demande dans les prochaines années, mais qu'elle sera faite, le cas échéant, lorsque le besoin industriel sera confirmé.

### État des lieux des entreposages

À la fin de l'année 2013, environ 27 000 t d'URT étaient entreposées principalement sur le site du Tricastin dans des parcs dédiés avec un conditionnement en fûts. Une augmentation des quantités entreposées de l'ordre de 1 150 t/an est prévue en moyenne sur les quinze prochaines années. Compte tenu du volume des fûts, de leur disposition et des conditions de gerbage, la saturation physique en volume des capacités d'entreposage sera atteinte avant la saturation du tonnage (atteinte du tonnage d'uranium autorisé pour ces parcs).

Le stock actuellement entreposé correspond à un taux d'occupation physique global (en fûts équivalents) autour des 80 % de la capacité physique globale disponible des parcs d'entreposage dédiés à l'URT. Selon Areva, les lieux d'entreposage actuels sont suffisants pour assurer l'entreposage de l'uranium de retraitement jusqu'à l'horizon 2021 et la définition des capacités d'entreposage d'uranium de retraitement supplémentaires au-delà de 2021 dépendent des choix industriels liés à la filière du recyclage d'uranium. Cependant, selon ces mêmes choix industriels qui seront retenus, des capacités d'entreposage supplémentaires seraient à prévoir pour assurer l'entreposage de l'uranium de retraitement au-delà de 2021.

Compte tenu de la perspective de saturation des capacités d'entreposage existantes à l'horizon 2021 au plus tôt, compte tenu des programmes éventuels de déstockage de l'URT par EDF pour une réutilisation dans le cycle du combustible, des délais de conception et de construction, des délais d'instruction ainsi que des aléas tant techniques ou juridiques, un délai global de l'ordre de 5 ans est à prévoir pour mettre en service de nouvelles capacités d'entreposage d'uranium de retraitement

**R4 – Les propriétaires d'URT doivent prendre les dispositions nécessaires permettant d'assurer la disponibilité de nouvelles capacités d'entreposage pour l'uranium de retraitement au regard des perspectives de croissance des stocks, en tenant notamment compte des délais d'instruction des autorisations administratives nécessaires.**

**R5 – Au regard des informations disponibles quant à la saturation des capacités actuelles d'entreposage, Areva doit déposer à cette fin une demande de création ou d'extension des capacités d'entreposage d'uranium de retraitement auprès de l'autorité administrative compétente, au plus tard le 31 décembre 2017.**

**I2 – Taux de remplissage des entreposages d'URT.**

### Perspectives de valorisation

La résorption du stock d'URT, qui devrait atteindre 34 000 t à fin 2020, est techniquement possible par la fabrication de combustibles à base de cet uranium (URE) qui pourraient être

consommés dans tout ou partie des réacteurs existants ou futurs, de façon comparable au recyclage pratiqué à Cruas jusqu'en 2013. La valorisation de ce stock dans le futur dépend du contexte économique (différentiel de coût de la filière URT par rapport à la filière uranium naturel), des enjeux de sécurité d'approvisionnement et des autorisations pouvant être délivrées par l'ASN pour faire fonctionner des réacteurs avec du combustible à l'URT<sup>73</sup>. L'ASN n'a pas été informée par EDF qu'une demande d'autorisation de faire fonctionner d'autres réacteurs que ceux de Cruas avec de l'URT serait faite dans les prochaines années.

EDF considère qu'au regard des perspectives économiques, la reprise de cette filière de valorisation pourrait être envisagée vers 2020, avec une consommation correspondante de l'ordre de 600 t/an, ce qui permettrait de consommer 6 000 t par tranche de 10 ans. À cet horizon, l'évolution de l'équilibre offre-demande pour l'uranium naturel pourrait en effet créer un contexte économique plus favorable au recyclage de l'URT, en France et au niveau international.

L'expérience du recyclage de l'URT est par ailleurs relativement importante dans le monde : 75 réacteurs ont été chargés en URT (majoritairement en Europe de l'ouest, Russie et Japon) et se développe notamment dans les pays qui disposent à la fois de réacteurs à eau légère et de réacteurs à eau lourde, comme la Corée, l'Inde ou la Chine. Des pays comme l'Argentine et la Roumanie s'intéressent également à l'utilisation de l'URT pour leur parc de réacteurs CANDU<sup>74</sup>.

À plus long terme, l'URT pourrait également servir dans les réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides.

La présentation du stock d'URT disponible sous forme de lot homogène permettrait de consolider les perspectives de valorisation pour des lots constitués de formes physico-chimiques d'URT effectivement mobilisables.

**R6 – Les propriétaires d'URT doivent présenter le stock d'URT constitué en différents lots homogènes, par exemple en distinguant l'URT issu du traitement industriel des combustibles UO<sub>x</sub> de celui constitué en tout ou partie par les matières issues de campagnes (parfois ponctuelles) de traitement de combustibles UNGG, MO<sub>x</sub> et URE.**

Le stock significatif d'URT aujourd'hui détenu en France conduit le PNGMDR à demander une stratégie permettant de plafonner à terme stock détenu, en cohérence avec les perspectives de valorisation envisagées. L'ASN considère dans son avis du 9 février 2016 qu'il est également nécessaire de préciser les conditions de valorisation de l'uranium de retraitement et d'assurer à moyen terme le plafonnement de ce stock.

**R7 – Les propriétaires d'URT doivent présenter, avant le 31 décembre 2017, une stratégie permettant de réduire à moyen terme la croissance des stocks d'URT détenus puis d'assurer le plafonnement de ces stocks. Les étapes clés et leurs échéances temporelles associées pour assurer le suivi de cette stratégie devant être identifiées.**

<sup>73</sup> EDF considère que l'URT pourrait être consommé dans des réacteurs de son parc autres que Cruas, dans la mesure où aucun verrou technique n'a été identifié à ce jour. Cette utilisation serait néanmoins concurrente de celle du MO<sub>x</sub> dans le cas où l'URT serait destiné à être utilisé dans des réacteurs autorisés à utiliser du MO<sub>x</sub>.

<sup>74</sup> En 2014, la consommation mondiale des réacteurs CANDU est d'environ 3 000 tonnes d'uranium naturel par an.

### Options de gestion si l'URT était requalifié en déchets

Une étude réalisée par EDF et AREVA dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 concluait qu'un stockage en sub-surface pourrait constituer un mode de gestion pour l'URT si cette matière venait à être considérée comme un déchet. En application du PNGMDR 2013-2015, EDF et Areva doivent approfondir la réflexion à ce sujet en fournissant des évaluations de l'impact radiologique et chimique pour des scénarios d'évolution normale ou altérée, dans le respect des orientations de sûreté édictées par l'ASN.

**R8 – Afin d'apprécier les conséquences d'une éventuelle requalification de tout ou partie des stocks d'URT en déchets radioactifs l'Andra, capitalisant sur les connaissances acquises dans le cadre des projets de stockage à l'étude, devra réaliser avant fin 2019 une étude de faisabilité d'un concept de stockage, en indiquant le coût associé sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par ses détenteurs. L'Andra présentera également l'impact potentiel de ces quantités de déchets sur les filières de stockage en projet.**

### 2.2.2 Les combustibles à base d'oxyde d'uranium (UOx et URE)

#### Modalités actuelles de gestion

Après leur déchargement, les combustibles usés à base d'oxyde d'uranium sont entreposés dans les piscines de désactivation des bâtiments combustibles (BK) des réacteurs électronucléaires. Après une période de refroidissement suffisante pour permettre leur transport, de l'ordre de 1 à 2 années, ils sont évacués des sites de production vers l'usine de La Hague où ils sont de nouveau entreposés en piscine. Le temps moyen entre leur déchargement et leur traitement est de l'ordre d'une dizaine à une quinzaine d'années.

La valorisation des combustibles usés issus des réacteurs électrogènes est une opération mise en œuvre depuis plusieurs décennies au plan industriel pour les combustibles UOx à base d'uranium naturel enrichi et constitués de pastilles de dioxyde d'uranium. En vertu du principe de l'équilibre des flux de plutonium appliqué par EDF, le flux annuel de traitement est calculé de manière à obtenir la quantité strictement suffisante de plutonium nécessaire à la fabrication du combustible MOx. Ce principe permet de maîtriser la quantité et la qualité du stock de plutonium.

Dans son avis délibéré du 20 juillet 2016 sur le PNGMDR 2016-2018, l'Autorité environnementale recommande que soit conduite une évaluation comparée des impacts pour la population et l'environnement des différentes alternatives possibles ou envisagées pour la gestion des matières et déchets radioactifs, en particulier le retraitement des combustibles usés.

**R9 – Areva, en lien avec EDF, le CEA et l'Andra, réalise avant le 30 juin 2018 une analyse comparée des impacts pour l'environnement d'une stratégie de retraitement des combustibles usés en comparaison de celle qui résulterait de l'absence de retraitement, en considérant l'ensemble du cycle de vie du combustible, depuis l'extraction de l'uranium, jusqu'au stockage des déchets induits.**

## État des lieux des entreposages

La capacité totale d'entreposage du combustible usé en piscine BK<sup>75</sup> est de 8 100 tMLi. Pour notamment des raisons d'exploitation courante des CNPE, une partie de cette capacité est actuellement allouée à d'autres usages que l'entreposage des seuls combustibles usés. À fin 2013, la capacité allouée effectivement disponible pour les combustibles usés était de 5360 tMLi, soit un taux d'occupation de l'ordre de 80 %.

La capacité autorisée totale des piscines de La Hague est de 17 600 tMLi. Cette capacité sert à entreposer non seulement les combustibles à base d'oxyde d'uranium mais également à base d'oxydes mixtes d'uranium et de plutonium. Elle n'est toutefois pas exclusivement allouée à l'entreposage des combustibles usés du cycle français.

EDF considère que les capacités disponibles permettent d'assurer l'entreposage des combustibles usés pour a minima les 10 prochaines années. EDF étudie les options pour disposer de nouvelles capacités avant la saturation des capacités existantes qui, selon les scénarios envisagés, adviendra à l'horizon 2030 au plus tôt. À ce stade de l'étude, en considérant que la conception/construction d'une nouvelle installation d'entreposage nécessite environ 15 ans, EDF envisage de déposer avant fin 2020, une demande de décret d'autorisation de création (DAC). Étant donnée les échéances envisagées de saturation des capacités d'entreposage de combustibles usés et étant donné les délais nécessaires à la conception et à la construction d'une telle installation, l'ASN a attiré « l'attention [d'EDF] sur la perspective de saturation des capacités françaises d'entreposage de combustibles usés » et a demandé à EDF de « présenter dans la prochaine mise à jour du dossier [sa] stratégie concernant ce sujet et les différents aléas associés à la création de nouvelles capacités d'entreposage ». L'ASN a indiqué qu'au vu des éléments à sa disposition, « une transmission par EDF d'un dossier d'options de sûreté (DOS) dans un délai de 12 à 18 mois est nécessaire » en vue de mettre en place de telles capacités.

Stocks à fin 2013 d'assemblages combustibles usés (ACU) à base d'uranium entreposés en piscine			
	BK EDF	La Hague	total
Combustibles UNE usés	3 700 tMLi	8 230 tMLi	11 930 tMLi
Combustibles URE usés	110 tMLi	310 tMLi	420 tMLi
<b>Total</b>	<b>3 810 tMLi</b>	<b>8 540 tMLi</b>	<b>12 350 tMLi</b>

**R10 – Étant donnée la perspective de saturation des capacités d'entreposage de combustible usé (UOx, URE, MOx usés) entre 2025 et 2035, EDF doit :**

- **Présenter, au plus tard, le 31 mars 2017 sa stratégie de gestion des capacités d'entreposage de combustibles usés REP (UOx, URE et MOx usés) et le calendrier associé à la création de nouvelles capacités d'entreposage (extension d'une installation existante ou création d'une nouvelle installation) ;**
- **Transmettre, au plus tard le 30 juin 2017, à l'ASN les options techniques et de sûreté relatives à la création de nouvelles capacités d'entreposage (extension d'une installation existante ou création d'une nouvelle installation d'entreposage de combustibles usés) ;**
- **Déposer avant le 31 décembre 2020 une demande d'autorisation de création auprès du ministre en charge de la sûreté nucléaire, pour la création d'une nouvelle installation d'entreposage de combustibles usés (ou une demande de modification substantielle s'il s'agit de l'extension d'une installation existante).**

<sup>75</sup> Cette capacité correspond à la capacité totale des piscines BK après déduction de la place nécessaire au déchargement des cœurs complets des réacteurs associés.

**I3 – Taux de remplissage des entreposages de combustibles usés des usines de La Hague.**

**I4 – Taux de remplissage des entreposages de combustibles usés des centrales d'EDF (piscines BK)**

#### Perspectives de valorisation

Les combustibles usés à base d'uranium de retraitement ré-enrichi (URE) ne sont pas traités. Pour ce qui est de l'uranium des URE usés, sa teneur en  $^{232}\text{U}$  est généralement plus élevée que celle de l'uranium de retraitement issu des combustibles UOx, ce qui rend son recyclage dans les réacteurs à eau légère moins attractif, l'isotope 232 défavorisant la réaction de fission. Il en est de même pour le plutonium des URE usés comparé à celui des UOx dont les teneurs isotopiques sont moins propices à la réaction de fission. Que ce soit pour l'uranium ou pour le plutonium, ces limitations sont liées à la neutronique des réacteurs à eau légère actuels. Leur traitement et leur recyclage permettrait néanmoins d'alimenter notamment le déploiement d'un parc de réacteurs à neutrons rapides 4<sup>ème</sup> génération. Dans cette perspective, les combustibles URE usés sont actuellement entreposés.

#### Options de gestion si les combustibles UOx et URE étaient requalifiés en déchets

Dans l'hypothèse d'une requalification des combustibles usés UOx et URE en déchets, ces derniers devraient faire l'objet d'un conditionnement spécifique en vue d'un stockage direct en couche géologique profonde. En application de l'article L. 594-1 et suivants du code de l'environnement, EDF est tenue de provisionner les dépenses aval de la gestion du combustible UOx à base d'uranium naturel enrichi engagé<sup>76</sup> : transport, entreposage en piscine, traitement-oxydation, entreposage et gestion des déchets du cycle. Pour le combustible URE usé, les dépenses pour son entreposage et son stockage direct sont provisionnées ; les règles de prudence comptable faisant qu'en l'absence de certitudes sur la construction d'un parc de réacteurs à neutrons rapides de 4<sup>ème</sup> génération, la solution retenue pour le calcul de ces provisions est celui d'un stockage direct des combustibles URE, sans retraitement. Les études relatives à la possibilité de stocker directement les combustibles usés dans une installation en couche géologique profonde sont détaillées au chapitre 4.1.

### **2.2.3 Les combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOx, rebuts MOx, SuperPhénix et Phénix)**

#### Modalités actuelles de gestion

Comme également précisé au paragraphe 2.2.5, le plutonium issu du traitement des combustibles UOx usés est utilisé pour fabriquer environ 120 t/an de combustibles MOx constitués également d'oxyde d'uranium appauvri.

---

<sup>76</sup> Un combustible engagé est un combustible qui a été introduit dans le réacteur et irradié.

Les rebuts de combustibles MOx non irradiés<sup>77</sup> sont des substances radioactives (pastilles, poudres...) qui n'ont pu être directement recyclées dans le circuit de production de MELOX. Ces substances sont conditionnées par exemple sous forme de boîtes, de crayons ou d'assemblages puis expédiées dans des emballages dédiés vers La Hague pour être entreposées puis traitées en vue d'une utilisation future des matières séparées. La quantité de rebuts de combustible à base d'oxyde d'uranium et de plutonium présente sur le site de La Hague à fin 2013 était de l'ordre de 234 t.

Ce stock a vocation à être traité dans des installations existantes ou dans de futures installations sur le site de La Hague et ainsi à être utilisé dans des réacteurs du parc actuel ou futur. *In fine*, la totalité de l'inventaire de rebuts devrait être recyclée à terminaison.

L'ASN considère dans son avis du 9 février 2016 que des précisions sur les conditions et perspectives de valorisation des rebuts de combustibles MOx doivent être apportés avant fin 2017 par leurs propriétaires pour chacun des différents types de rebut détenus.

### État des lieux des entreposages

<b>Stocks à fin 2013 d'assemblages combustibles usés (ACU) à base de plutonium (MOx) entreposés en piscine (BK + La Hague)</b>			
	BK EDF	La Hague	total
Combustibles MOX REP usés	340 t <sub>MLi</sub>	1 200 t <sub>MLi</sub>	1 540 t <sub>MLi</sub>

<b>Stocks à fin 2013 de combustibles MOx RNR</b>			
	APEC (Superphénix)	La Hague + Marcoule (Phénix)	total
Combustibles MOX RNR	176 t <sub>MLi</sub>	38 t <sub>MLi</sub>	214 t <sub>MLi</sub>

### Perspectives de valorisation

Compte tenu des caractéristiques isotopiques du plutonium contenu ainsi que des quantités de combustibles MOx usés déchargés du parc nucléaire français, la gestion industrielle de ces combustibles aujourd'hui privilégiée par EDF est le recyclage en réacteurs à neutrons rapides (RNR) de quatrième génération. Dans cette perspective, le plutonium est actuellement conservé au sein des assemblages MOx usés, en attente d'un éventuel besoin.

Le démonstrateur technologique RNR-sodium Astrid (cf. paragraphe 2.3) qui est prévu, pourrait être alimenté en partie par le plutonium issu du traitement des combustibles Phénix. Pour cela, une installation de traitement des combustibles particuliers (projet TCP) est en cours de conception, Areva a transmis fin 2015 à l'ASN un dossier d'options de sûreté concernant cet atelier. Cette installation serait implantée sur le site de La Hague et devrait faire l'objet d'une procédure d'autorisation, le cas échéant.

Les études de scénarios industriels réalisées conjointement par le CEA, EDF et Areva, sur l'introduction progressive de réacteurs à neutrons rapides, font apparaître qu'un nombre limité de réacteurs permettrait de recycler la totalité du plutonium issu des combustibles MOx usés. La

<sup>77</sup> La distinction entre les combustibles MOx et les rebuts a été introduite par l'arrêté du 4 avril 2014 modifiant l'arrêté du 9 octobre 2008 relatif à la nature des informations que les responsables d'activités nucléaires et les entreprises mentionnées à l'article L. 1333-10 du code de la santé publique ont obligation d'établir, de tenir à jour et de transmettre périodiquement à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

faisabilité de cette valorisation dans les réacteurs à neutrons rapides suppose la maîtrise industrielle du traitement des combustibles MOx usés, dont la faisabilité industrielle a été établie à petite échelle<sup>78</sup>. Le recyclage systématique du plutonium de tous les combustibles usés, y compris celui des combustibles RNR usés, nécessiterait toutefois le déploiement d'un parc conséquent de réacteurs RNR allant au-delà des quelques unités nécessaires pour le seul recyclage des combustibles MOx issus des réacteurs à eau légère.

Des gestions alternatives du plutonium des combustibles MOx usés ont été évaluées, par exemple en mélange avec de l'uranium enrichi (combustibles MIX), ou en mélange avec le plutonium des combustibles usés UOx. Les études n'ont pas mis en évidence d'avantage net de ces gestions alternatives comparées aux modes de gestion actuels et envisagés.

La future stratégie de gestion du plutonium contenu dans les combustibles du réacteur Superphénix : un cœur neuf et un cœur irradié entreposés dans l'installation APEC<sup>79</sup>, n'est pas aujourd'hui figée. Ses caractéristiques isotopiques rendent possible techniquement son utilisation pour fabriquer de nouveaux combustibles MOx.

**R11 – Le caractère de matière radioactive des combustibles MOx et URE usés doit être périodiquement réévalué.**

**R12 – Dans cette perspective, les propriétaires de combustibles URE et MOx usés doivent :**

- se prononcer sur la faisabilité technico-économique d'un traitement à grande échelle de ces combustibles puis d'une valorisation des substances séparées (uranium et plutonium) dans les installations du cycle ainsi que dans les réacteurs à neutrons thermiques ;
- préciser les quantités de plutonium nécessaires à la mise en place d'un parc de réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération et préciser, le cas échéant, les quantités maximales de combustibles usés URE, MOx et UOx non utilisés dans le parc actuel qui seraient mobilisées à cette fin.

**Ces éléments doivent être communiqués avant le 31 décembre 2017.**

#### Options de gestion si le combustible MOx usé était requalifié en déchets

Une politique énergétique qui déciderait de ne pas aller vers un recyclage complet de tous les combustibles usés conduirait *in fine* à devoir stocker les combustibles MOx usés qui devraient alors être pris en charge dans le cadre du stockage profond des déchets nucléaires tel que présenté au chapitre 4.2 du PNGMDR. Dans cette éventualité, EDF provisionne les fonds nécessaires au stockage définitif de ces combustibles, en conformité avec les études et estimations actualisés des coûts<sup>80</sup>.

<sup>78</sup> Environ 70 tonnes de combustibles MOx usés provenant des réacteurs à eau pressurisée ont déjà été traitées dans l'usine de La Hague. Par ailleurs, plusieurs dizaines de tonnes de combustibles MOx usés provenant des RNR ont été traitées tant à La Hague qu'à Marcoule.

<sup>79</sup> L'APEC (Atelier pour l'Entreposage du Combustible) comprend plus particulièrement un bâtiment d'entreposage en eau (piscine) et un bâtiment d'entreposage à sec. Les assemblages combustibles usagés déchargés du cœur du réacteur de Superphénix sont entreposés en piscine, de même que les assemblages combustibles neufs.

<sup>80</sup> Idem que pour les combustible URE usés présentés au paragraphe 2.2.1.

## 2.2.4 Les combustibles des réacteurs de recherche et de propulsion navale

### Flux annuels, modalités de gestion et état des lieux des entreposages des combustibles de recherche

La consommation en combustibles de recherche est principalement entretenue par les deux principaux réacteurs de recherche français OSIRIS et ORPHEE. OSIRIS a été définitivement arrêté fin 2015 (sa consommation en combustible était jusqu'à alors de l'ordre de 0,15 t/an) et le CEA prévoit l'arrêt définitif d'ORPHEE fin 2019 avec une consommation prévisionnelle jusqu'à son arrêt de 0,015 t/an. Il est également prévu que le réacteur RHF exploité par l'ILL consomme de l'ordre de 0,050 t/an jusqu'à l'horizon 2030-2032. Le futur réacteur RJH devrait par ailleurs consommer de l'ordre de 0,150 t/an après sa mise en service prévue en 2021.

Concernant les capacités d'entreposage, le CEA dispose de l'installation d'entreposage CASCAD de combustibles en puits, à sec, sur le site de Cadarache. Cette installation comprend 315 puits d'entreposage. À fin 2014, cette installation disposait d'une capacité disponible de 37 puits (soit de l'ordre de 16 tMLi) pour entreposer des combustibles civils, qui proviendront de diverses opérations de désentreposage depuis d'autres installations du CEA. Le CEA indique que cette capacité disponible est en adéquation avec ses prévisions des programmes pour la décennie à venir.

À fin 2013, les quantités de combustibles usés issus des réacteurs de recherche entreposés à la Hague<sup>81</sup> s'élevaient par ailleurs à 3,8 tMLi. Ces quantités ne devraient pas dépasser de l'ordre de 5 tMLi dans les 15 prochaines années.

### Perspectives de valorisation

Les combustibles des réacteurs de recherche (57 t de combustibles usés oxydes et 19 t de combustibles usés métalliques) sont, d'après leurs propriétaires, destinés dans leur globalité<sup>82</sup> à être traités et les matières qui les constituent (uranium et plutonium) à être recyclées. Pour cela, une technique spécifique mise en œuvre dans l'usine de La Hague permet de traiter les combustibles issus de certains réacteurs aujourd'hui tous arrêtés, démantelés et déclassés ou en cours de démantèlement (RUS à Strasbourg et réacteurs SILOE, SILOETTE, ULYSSE et SCARABEE du CEA).

Les installations opérationnelles de traitement de combustible nucléaire d'Areva La Hague disposent d'autorisations pour le traitement de certains combustibles issus des réacteurs de recherche, y compris de fort enrichissement en isotope 235. Areva dispose du retour d'expérience des opérations et traitements de combustibles des réacteurs de recherches réalisés sur les usines de Marcoule et de La Hague.

Les combustibles de type « caramel » (sandwich d'alliage d'uranium enrichi entre deux plaques métalliques) utilisés dans d'autres réacteurs de recherche (OSIRIS, ISIS, ORPHEE) sont destinés

---

<sup>81</sup> La capacité administrative totale d'entreposage des piscines de La Hague est de 17 600 tML.

<sup>82</sup> Par rapport au PNGMDR 2013-2015, EDF considère désormais les combustibles usés du réacteur EL4 de Brennilis (environ 27 m<sup>3</sup>) comme des matières radioactives.

au traitement, même si aucune campagne industrielle de traitement<sup>83</sup> n'a encore eu lieu dans les usines de La Hague et que ce traitement n'est à ce jour pas autorisé dans ces usines.

Les faibles quantités de combustibles usés de recherche d'autres natures (combustibles historiques métalliques et crayons et échantillons expérimentaux), actuellement entreposés sur les sites du CEA ont depuis début 2012 pour voie de référence, selon le CEA, un recyclage futur. Sur le plan technique, ces combustibles s'apparentent à des combustibles « caramel », pour lequel le traitement industriel nécessitera de nouveaux équipements dans les usines de La Hague

Les très faibles quantités de déchets (conteneurs de déchets vitrifiés ou technologiques) qui seront issus du recyclage des combustibles usés précités sont comptabilisés dans l'inventaire de dimensionnement du projet de stockage en couche géologique profonde Cigéo.

Les 156 t de combustibles usés de la propulsion nucléaire contiennent des matières d'intérêt pour la Défense qu'il est prévu de traiter à l'issue d'une période d'entreposage. Les déchets ultimes issus de ce traitement sont comptabilisés dans l'inventaire de dimensionnement du projet de stockage en couche géologique profonde Cigéo. Sur le plan technique, les combustibles usés de la propulsion navale s'apparentent aux combustibles « caramel », dont le traitement industriel nécessitera de nouveaux équipements dans l'usine de La Hague.

**R13 – Chaque propriétaire de combustibles usés issus des réacteurs de recherche doit présenter de manière détaillée pour fin 2017 la typologie de l'ensemble des combustibles usés détenus, les développements à réaliser pour permettre leur valorisation, ainsi que l'intérêt des propriétés des matières séparées en vue de leur réutilisation. Les propriétaires, en lien avec l'Andra et Areva, devront par ailleurs communiquer l'évaluation détaillée du coût d'un programme de traitement de ces combustibles usés par rapport à leur stockage direct.**

### 2.2.5 Le plutonium

De même que l'uranium, le plutonium contenu dans les assemblages de combustibles usés est extrait lors de leur traitement. Un combustible usé à l'uranium irradié dans un REP contient aujourd'hui environ 1 % de plutonium en masse. Une fois mis en solution, extrait et séparé des autres matières contenues dans le combustible usé, le plutonium est purifié et conditionné à Areva La Hague sous forme stable de poudre d'oxyde  $\text{PuO}_2$ . La réutilisation du plutonium s'effectue aujourd'hui dans le combustible MOx. Ce combustible est constitué de pastilles de poudre d'oxydes  $(\text{UPu})\text{O}_2$  fabriquées à partir d'un support d'uranium appauvri et de plutonium.

En France, 24 réacteurs sont autorisés à charger du combustible MOx et près de 10 % de l'électricité nucléaire est aujourd'hui produite grâce à ce combustible. Les besoins en plutonium pour la fabrication du combustible MOx, de l'ordre de 10 tonnes par an, conditionnent le flux annuel des combustibles usés EDF traités dans l'usine de La Hague par Areva dans le but de maintenir stable l'inventaire de plutonium séparé.

---

<sup>83</sup> À ce jour, seuls des combustibles de type « caramel » issus du réacteur de recherche OSIRIS ont été traités au CEA Marcoule dans le cadre d'une opération d'assainissement : 2,3 tonnes d' $\text{UO}_2$  ont été traitées permettant de valider le concept. Néanmoins, la faisabilité industrielle du traitement au sein des usines de La Hague n'a pas été démontrée à ce stade.

À plus long terme, le plutonium pourrait également être utilisé dans des réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides.

Au 31 décembre 2013, un peu plus de 52 tonnes de plutonium étaient entreposées en France :

- 41 tonnes de plutonium entreposées à l'usine Areva de La Hague, dont 16 tonnes appartenant à des clients étrangers ;
- 9 tonnes de plutonium en cours d'utilisation dans le processus de fabrication de combustibles MOx (sous forme de PuO<sub>2</sub>, d'oxyde mixte (UPu)O<sub>2</sub> ou encore en assemblages MOx finis), dont 1 tonne appartient à des clients étrangers ;
- environ 2 tonnes de plutonium entreposées dans diverses installations du CEA.

Cet inventaire n'a pas vocation à croître, puisque selon Areva :

- la part étrangère actuelle, principalement japonaise, continuera d'être réduite avec, notamment, le redémarrage vraisemblable des réacteurs nucléaires japonais et la confirmation de la poursuite du programme « Pluthermal » (programme de « moxidation » du parc japonais) ;
- la politique de traitement-recyclage française reposant sur le principe de l'équilibre des flux de plutonium, le niveau de traitement est ajusté à la capacité de recyclage de cette matière dans les réacteurs utilisant le combustible MOx. Le stock de plutonium nécessaire pour assurer une production d'environ 120 t/an de combustible MOx peut varier d'une année sur l'autre mais reste globalement stable et répond à des besoins de flexibilité opérationnelle.

Le taux d'occupation physique global des entreposages de plutonium à La Hague demeure autour des 2/3 de la capacité disponible. L'ASN considère dans son avis du 9 février que, au regard des éléments présentés (25 tonnes entreposées à La Hague, hors clients étrangers) dans le cadre des études du PNGMDR 2013-2015, qu'Areva doit montrer avant fin 2017 que le stock de plutonium qu'il détient est optimisé par rapport aux modalités de valorisation envisagées.

Concernant le plutonium détenu par le CEA, celui-ci entend pouvoir le valoriser à l'avenir dans les programmes d'études et de recherche sur les combustibles et réacteurs, notamment ceux de la filière de 4<sup>e</sup> génération à neutrons rapides, ainsi que dans la filière des combustibles MOx. Celui-ci se présentant sous des formes physico-chimiques et isotopiques variées, il est nécessaire de s'assurer qu'elles soient effectivement valorisables..

La totalité du stock de plutonium issu du traitement des combustibles usés devrait être *in fine* recyclée sous forme de combustible.

<b>R14 – Le CEA doit apporter avant fin 2017 des justifications complémentaires sur le caractère effectivement valorisable de l'ensemble des formes physico-chimiques et isotopiques de plutonium qu'il détient. Il précisera les développements à réaliser pour permettre leur valorisation.</b>
---

## 2.2.6 Le thorium

Solvay et Areva sont propriétaires d'environ 8 500 tonnes de thorium, sous forme de nitrates et d'hydroxydes. Ces substances sont entreposées sur les sites de La Rochelle (environ 6 200 t) et de Cadarache (environ 2 300 tonnes).

Les fûts de nitrate de thorium d'Areva sont entreposés à Cadarache dans l'installation MMB du CEA. Entre 2005 et 2012, ces fûts ont été sur-enfûtés dans des fûts en inox et entreposés avec une pérennité supérieure à 50 ans, sur des palettes métalliques.

Solvay entrepose ses substances thorifères sur le site de La Rochelle. Le retraitement envisagé des 21 700 t d'hydroxydes conduira à les substituer par environ 4 500 t de nitrates de thorium conditionnés en fûts Inox. Solvay n'entrevoit donc aucune demande de capacité supplémentaire d'entreposage de substances thorifères.

Les installations d'entreposage de ces substances thorifères relèvent par ailleurs du régime des ICPE et des garanties financières sont imposées afin d'assurer la surveillance des sites, le maintien en sécurité des installations, ainsi que les interventions éventuelles en cas d'accident<sup>84</sup>.

### Perspectives de valorisation

Le thorium n'a pas d'utilisation établie à l'échelle industrielle aujourd'hui, mais de nombreuses perspectives sont affichées par Areva et Solvay<sup>85</sup>, qui considèrent les substances thorifères entreposées comme matières radioactives.

Le thorium 232 peut, par capture neutronique, se transmuter en uranium 233, qui est fissile. Un « cycle thorium », utilisant le thorium comme combustible et basé sur un recyclage du thorium et de l'uranium 233 sans utiliser l'uranium 235 ni le plutonium, pourrait ainsi éventuellement s'envisager. Plusieurs décennies seraient toutefois nécessaires pour espérer voir aboutir cette piste au vu des travaux de recherche et développement qui restent à accomplir<sup>86</sup>.

Une introduction graduelle du thorium dans les réacteurs en vue d'une amélioration du cycle uranium-plutonium, permettant un multi-recyclage de ces matières fissiles, serait en revanche envisageable à plus court terme en fonction des besoins et de l'évolution du marché de l'uranium naturel selon Areva et Solvay qui ont engagé à ce titre un programme de R&D en plusieurs phases sur les applications en réacteur. La première phase visant à identifier les potentialités de l'utilisation du thorium en réacteur à eau légère, puis à recenser les technologies disponibles, les partenariats possibles et le programme de R&D appliqué à mettre en œuvre a été finalisée en 2012. Des essais préliminaires de caractérisation de la poudre de thorium ont été réalisés en 2014. Le programme de recherche, établi jusqu'à 2018, intègre des essais sur le comportement du combustible sous irradiation, des expérimentations de fabrication et de traitement, ainsi que l'analyse de scénarios de déploiement des combustibles au thorium, dans l'ambition d'obtenir des combustibles qualifiés à l'horizon 2030. Des programmes de développement de filières de valorisation du thorium en réacteur sont également en cours en Inde et en Chine.

AREVA poursuit parallèlement ses activités de R&D pour la réalisation de traitements anti-cancéreux par radio-immunothérapie alpha utilisant du plomb 212 (élément de filiation du thorium) qui peut être extrait des nitrates de thorium dans un pilote pré-industriel ou dans le Laboratoire Maurice Tubiana, tous deux situés à Bessines-sur-Gartempe. Des essais cliniques et précliniques ont été initiés respectivement aux États-Unis et en France. Les possibilités d'utilisation du plomb 212 à cette fin restent cependant conditionnées par la démonstration de son utilité thérapeutique qui ne pourra être faite que par les résultats de futurs essais cliniques.

---

<sup>84</sup> Arrêté du 23 juin 2015 relatif aux installations mettant en œuvre des substances radioactives, déchets radioactifs ou résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium soumises à autorisation au titre de la rubrique 1716, de la rubrique 1735 et de la rubrique 2797 de la nomenclature des installations classées.

<sup>85</sup> Cf. rapport conjoint EDF/CEA/AREVA/Solvay remis dans le cadre du PNGMDR 2013-2015.

<sup>86</sup> Cf. rapport de l'Agence pour l'énergie nucléaire : Introduction of Thorium in the Nuclear Fuel Cycle, OCDE 2015 disponible sur internet : <https://www.oecd-nea.org/science/pubs/2015/7224-thorium.pdf>

Par ailleurs, même si le développement de telles applications peut justifier la mobilisation d'une quantité importante de thorium, elle ne permet pas d'assurer la gestion à long terme du thorium, que ce soit techniquement par l'étude de son stockage ou financièrement par la mise en place de garanties. L'utilisation du plomb 212 ne modifie pas non plus les quantités détenues de substances thorifères<sup>87</sup> et leur radiotoxicité.

Au regard de ces perspectives et procédés de valorisation, qui sont présentés plus en détail dans l'étude remise par les propriétaires de thorium dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, l'ASN considère, dans son avis du 9 février 2016, que la sécurisation du financement de la gestion à long terme des substances thorifères est indispensable.

#### Options de gestion si les substances thorifères étaient requalifiées en déchets

Dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, Areva et Solvay ont examiné, à titre conservatoire, les modalités de gestion à long terme des substances thorifères si le thorium était un jour qualifié de déchet radioactif.

Les caractéristiques radiologiques<sup>88</sup> des substances entreposées : nitrates de thorium, hydroxydes de thorium, <sup>238</sup>U en faible proportion, etc. les rendent incompatibles avec un stockage en surface. Areva et Rhodia, sur la base d'une étude réalisée par l'Andra ont alors pris comme concept de référence le concept de stockage de déchets radifères. Les calculs réalisés ont montré que les concentrations en thorium et en uranium dans l'environnement, en évolution normale, resteraient inférieures à 1 microgramme par litre.

Areva et Rhodia ont conclu qu'un stockage en sub-surface accueillant des déchets de type « radifères » pourrait constituer un mode de gestion possible pour les substances thorifères si le thorium venait à être considéré comme un déchet. En application du PNGMDR 2013-2015, l'Andra, Areva et Solvay doivent remettre une étude complémentaire<sup>89</sup> sur le stockage de ces substances pour notamment préciser : les inventaires radiologiques et chimiques des substances concernées, les traitements ou conditionnements envisagés avant stockage, ainsi que les concepts de stockage envisageables en lien avec les centres de stockage en projet.

#### Projet d'optimisation du stock détenu par la valorisation de certaines substances (terres rares, uranium)

Un projet d'optimisation technico-économique de la gestion de l'ensemble des substances thorifères (hydroxydes et nitrates de thorium, résidus solides banalisés, des matières en suspension) entreposées sur le site de La Rochelle est étudié par Solvay. Ce projet vise notamment à valoriser l'uranium et les terres rares présents dans les substances thorifères, à récupérer le thorium sous une forme directement valorisable et à réduire les quantités de déchets radifères ultimes entreposés dans des conditions de sûreté appropriées, dans l'attente de l'ouverture d'un centre de stockage pour les déchets FA-VL.

---

<sup>87</sup> Environ 90 ng de plomb 212 peuvent être extraits par tonne de nitrates de thorium ; cette quantité se régénérant par décroissance radioactive après une dizaine d'années.

<sup>88</sup> Les activités massiques du nitrate de thorium et de d'hydroxyde de thorium sont respectivement d'environ 5 000 Bq/g et 2 000 Bq/g.

<sup>89</sup> Arrêté du 7 novembre 2014 pris pour application du décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

Les premières conclusions indiquent que les étapes principales du procédé envisagé ont déjà été exploitées industriellement et que le bilan technico-économique du traitement, que Solvay considère intéressant à moyen terme, dépend notamment de la date d'ouverture du stockage pour les déchets FA-VL et de son coût unitaire ainsi que du prix de vente des terres rares et du thorium.

### 2.2.7 Autres matières

#### *Sources scellées*

Une part significative des sources scellées usagées, notamment des sources de Cobalt-60, Césium-137 et d'Américium-241<sup>90</sup>, sont recyclées par les fabricants de sources : elles sont alors considérées comme des matières radioactives. Le recyclage de ces sources permet de minimiser les déchets ultimes, d'éviter une saturation des capacités d'entreposage et d'optimiser les coûts.

Les procédés de recyclage sont de différentes natures : ajout d'une enveloppe, remplacement de l'enveloppe externe, destruction des enveloppes et retraitement physique de la matière radioactive, destruction des enveloppes et traitement chimique de la matière radioactive.

Les possibilités de recyclage dépendent notamment : de la faisabilité technique et du coût associé, du coût des transports, des capacités techniques de chaque fabricant et de la décroissance radioactive, qui fait que l'activité volumique restante des matières radioactives recyclées limite leur intérêt économique et finit par les rendre inutilisables en pratique. Les modalités de gestion des sources scellées usagées considérées comme des déchets radioactifs sont présentées au chapitre 4.3 de ce PNGMDR.

#### *Les matières en suspension (MES)*

Les matières radioactives de Solvay entreposées à La Rochelle comprennent également des matières en suspension (contenant des oxydes de terres rares et des traces de thorium et d'uranium). L'étude remise à l'époque par Rhodia concluait à la faisabilité technico-économique de leur valorisation. Le recyclage de ces matières a débuté en 2010 et devrait être terminé avant 2020.

### 2.2.8 Scénarios prospectifs d'utilisation des matières radioactives

Outre les scénarios industriels de référence, l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs établi par l'Andra présente, dans son édition 2015, une estimation de la production de déchets radioactifs et de combustibles usés en fonction de deux scénarios prospectifs de politique énergétique (poursuite / non-renouvellement de la production électronucléaire), dont l'application a une influence sur les possibilités de valorisation des matières radioactives.

Au sein de chaque scénario étudié, les modalités de valorisation d'une substance radioactive peuvent par ailleurs être incompatibles avec celles envisagées pour d'autres substances

---

<sup>90</sup> En France depuis 2010, environ 2000 TBq de Cobalt-60, 2000 TBq de Césium-137 et quelques dizaines de TBq d'Américium-241 ont été retournés chez les fabricants pour recyclage.

radioactives (par exemple l'utilisation de manière « concurrente » d'uranium de retraitement issu de combustibles UOx sous forme de combustibles URE ou de plutonium issu de combustibles UOx usé sous forme de combustibles MOx). Ce point nécessite d'être mieux pris en compte dans l'étude des scénarios prospectifs, notamment dans celui de non-renouvellement de la production électronucléaire. Il est en effet nécessaire que l'étude de ce scénario puisse conduire à identifier une stratégie qui permettrait de consommer au mieux le stock détenu de combustibles usés, de plutonium et d'uranium (notamment uranium appauvri et URT) en privilégiant, dans le cycle du combustible, l'utilisation des substances dont le stockage présente le plus de risques et d'inconvénients pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement. Les propriétaires de matières radioactives devront ainsi définir une stratégie de valorisation des matières qu'ils détiennent, en tenant compte de l'ensemble des matières radioactives qui seraient requalifiées en déchets dans un tel scénario ainsi que des principes de limitation de la quantité et de la nocivité des déchets du code de l'environnement.

**R15 – L'Inventaire national comprend des scénarios industriels de référence et des scénarios prospectifs. Les scénarios prospectifs qui seront étudiés par la prochaine édition de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs réalisée par l'Andra devront notamment prendre en compte les demandes suivantes :**

- intégrer des scénarios industriels de référence compatibles avec les objectifs de la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte ;
- présenter un scénario prospectif de non-renouvellement de la production électronucléaire dans lequel les matières non valorisées sont requalifiées en déchets ;
- étudier une variante au scénario de renouvellement du parc électronucléaire dans lequel le parc futur ne serait pas composé de réacteurs à neutrons rapides.

### ***2.3 Travaux sur les réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération***

En dehors des éléments de structure des assemblages qui constituent un déchet ultime, le combustible nucléaire usé déchargé des réacteurs à eau au terme de son irradiation, présente environ 95 % d'uranium résiduel, 4 % de produits de fission (les fragments issus de la fission de  $^{235}\text{U}$  et du  $^{239}\text{Pu}$ ) et 1 % d'éléments dits « transuraniens » : essentiellement du plutonium (dont la plupart des isotopes présents sont fissiles), les autres, dits « actinides mineurs » parce que d'abondance moindre, ne représentant que 0,1 %.

La stratégie de traitement-recyclage des combustibles usés, mise en place par la France il y a plus de 30 ans s'inscrit dans le cadre du principe défini par l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et permet le recyclage en combustibles MOx du plutonium produit au sein des combustibles UOx. Des combustibles MOx usés ont par ailleurs été traités et recyclés, mais la physique des neutrons thermiques ne permet pas la mise en œuvre à grande échelle d'un multirecyclage du plutonium et de l'uranium dans les réacteurs à eau pressurisés actuels. Une valorisation plus aboutie de ces matières, passant par la possibilité d'un tel recyclage, constitue une possibilité dans le cadre des recherches sur les systèmes nucléaires de quatrième génération.

Les réacteurs à neutrons rapides (RNR) présentent plusieurs atouts déterminants vis-à-vis de la gestion des matières en complémentarité des filières existantes de réacteurs à neutrons thermiques dont fait partie l'actuelle filière REP du parc français. Les RNR peuvent ainsi utiliser sans limitation le plutonium produit par les réacteurs à eau (ou par eux-mêmes). Ils permettent

également de valoriser dans son ensemble l'uranium naturel (tous ses isotopes, dont l'isotope 238 largement majoritaire) : ce qui multiplie par un facteur voisin de 100, l'énergie que l'on peut extraire d'une masse donnée d'uranium naturel. Ils ont aussi la capacité, une fois constitué le stock nécessaire à leur démarrage, de se passer d'uranium naturel<sup>91</sup>. Le spectre des neutrons rapides ouvre aussi la possibilité de transmuter certains actinides mineurs et permet d'envisager de limiter par-là l'emprise du site de stockage profond des déchets nucléaires (cf. chapitre 4.3 sur la séparation transmutation des actinides mineurs).

Ces perspectives ont été en partie confirmées en 2014 par le Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires qui a indiqué à l'ASN que : « *Le bilan effectué conduit le groupe permanent à considérer que, à ce jour, parmi les différents systèmes nucléaires envisagés par le GIF [Forum Génération IV], seul le système SFR [RNR-NA] présente une maturité suffisante pour que la réalisation d'un prototype industriel de réacteur de quatrième génération soit envisageable dans la première moitié du XXIème siècle. Toutefois, le groupe permanent ne peut pas, au vu de ce qui lui a été présenté, se prononcer sur la possibilité d'atteindre, pour le déploiement industriel de cette filière, un niveau de sûreté significativement supérieur à celui qui est visé pour les réacteurs à eau sous pression de type EPR, compte tenu en particulier des différences de conception et de l'état des études et recherche* ».

Sur la base des enseignements tirés des réacteurs précédents en France (notamment Phénix) et à l'international, le CEA, Areva et EDF ont établi en 2007 un programme de recherche et de développement, permettant de lancer en 2010 les études de conception du démonstrateur technologique RNR-sodium Astrid. Ce démonstrateur, d'une puissance électrique de 600 MWe environ, est destiné en premier lieu à démontrer à une échelle préindustrielle suffisante les avancées technologiques obtenues en qualifiant au cours de son fonctionnement les options innovantes, notamment dans les domaines de la sûreté et de l'opérabilité. La recommandation R8 de la partie 4.2.3 du présent PNGMDR précise les objectifs attendus du programme Astrid du point de vue du plan.

---

<sup>91</sup> Alors que le parc nucléaire français consomme environ 7 000 tonnes d'uranium naturel chaque année et laisse de côté 6 000 tonnes d'uranium appauvri, un parc de RNR de puissance équivalente ne nécessiterait chaque année qu'environ 50 tonnes d'uranium appauvri. Le stock d'uranium appauvri français à fin 2013 (environ 290 000 t) serait alors suffisant sur du très long terme.

## 3 Les filières existantes de gestion des déchets radioactifs : bilan et perspectives

### 3.1 La gestion des situations historiques

Certains déchets radioactifs ont pu, par le passé, faire l'objet de modalités de gestion qui ont depuis évolué. Il s'agit notamment de stockages au sein ou à proximité des sites de production. Ces déchets ont également pu, dans certains cas, être utilisés comme remblais ou gérés au sein de filières dédiées aux déchets conventionnels. **Les lieux (à l'exclusion des lieux de stockage de résidus et stériles miniers) où se trouvent stockés des déchets radioactifs qui ne sont pas sous la responsabilité de l'Andra et pour lesquels les producteurs ou détenteurs n'envisageaient pas lors de leur dépôt une gestion dans les filières externes existantes ou en projet dédiées à la gestion des déchets radioactifs, sont qualifiés de « stockages historiques ».** Il s'agit notamment :

- de treize installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets TFA provenant de l'industrie conventionnelle ou nucléaire ;
- de déchets stockés à proximité ou au sein des périmètres d'installations nucléaires de base civiles ou secrètes ou de sites et installations nucléaires d'expérimentations intéressant la défense (SIENID) ;
- de dépôts de déchets à radioactivité naturelle élevée (déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives) qui ne relèvent pas de la réglementation des installations classées. Il s'agit notamment de déchets de phosphogypses provenant de la production d'engrais, de résidus provenant de la production d'alumine, de cendres de charbon issues des centrales thermiques et de résidus provenant des activités de production de terres rares à partir de monazite.

Le PNGMDR 2016-2018 demande l'achèvement des investigations relatives à la recherche de stockages historiques contenant des déchets radioactifs au sein ou à proximité des périmètres des installations nucléaires et la présentation argumentée des stratégies de gestion pour les stockages identifiés.

#### 3.1.1 Contexte et enjeux

Les déchets radioactifs font l'objet de modalités de gestion qui ont fortement évolué :

- l'immersion des déchets radioactifs de faible et moyenne activité pratiquée par la France, en Atlantique en 1967 et 1969, puis dans les eaux territoriales de la Polynésie Française jusqu'en 1982 est une pratique révolue et désormais interdite par la réglementation<sup>92</sup>. L'inventaire des déchets immergés figure dans l'Inventaire national de l'Andra<sup>93</sup> mais n'est pas traité dans le présent chapitre ;
- l'enfouissement de résidus d'expérimentations pour les programmes de la défense ou de déchets d'exploitation est maintenant interdit ; en général ces enfouissements ont été faits sous une couverture de matériaux inertes conventionnels importante (béton, gravats, terre) et font l'objet d'une surveillance spécifique du stockage lui-même et de l'environnement ;
- le stockage de certains déchets de très faible activité provenant d'installations nucléaires de base (INB) ou d'installations nucléaires de base secrètes (INBS), au sein ou à proximité des

<sup>92</sup> Décret n° 2006-401 du 3 avril 2006 portant publication du protocole de 1996 à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, fait à Londres le 7 novembre 1996.

<sup>93</sup> L'Inventaire est consultable sur le site de l'Andra, <http://www.andra.fr/>, rubrique « Éditions ».

sites de production ou dans des installations de stockage de déchets conventionnels, lorsque le niveau d'activité des déchets était jugé suffisamment faible, a également cessé depuis l'arrêté du 31 décembre 1999<sup>94</sup> qui comportait des dispositions spécifiques et renforcées sur la gestion des déchets provenant d'INB. Les prescriptions générales des INBS ont également demandé l'application de cet arrêté avant l'adoption formelle de dispositions similaires dans l'arrêté du 26 septembre 2007. Les déchets produits dans les installations nucléaires font ainsi depuis lors l'objet d'une gestion spécifique et renforcée. En particulier, les déchets TFA sont stockés au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) à Morvilliers ;

- des déchets à radioactivité naturelle élevée provenant de l'industrie conventionnelle ont été déposés (stockage ou transit) à proximité des sites de production ou dans des installations de stockage de déchets conventionnels relevant de la législation des ICPE ou, pour certains, valorisés (réalisation de bâtiments et de travaux routiers), sans que des modalités de gestion adaptées à la nature de ces déchets ne soient clairement mises en œuvre. Ils font désormais l'objet de modalités spécifiques de gestion, présentées dans le chapitre 3.3, qui sont fondées sur les prescriptions de l'arrêté ministériel du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives.

Les stockages historiques de déchets traités dans ce chapitre correspondent aux lieux (à l'exclusion des lieux de stockage de résidus et stériles miniers qui font l'objet du chapitre 3.2) où sont stockés des déchets radioactifs qui ne sont pas sous la responsabilité de l'Andra et pour lesquels les producteurs ou détenteurs n'envisageaient pas lors de leur dépôt, une gestion dans les filières externes existantes ou en projet dédiées à la gestion des déchets radioactifs.

Il s'agit :

- des stockages dans des installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu régulièrement ou occasionnellement des déchets comportant une radioactivité ajoutée de l'ordre de quelques Bq/g dans de nombreux cas ;
- des stockages de déchets situés au sein ou à proximité d'installations nucléaires de base, pouvant avoir reçu régulièrement ou occasionnellement des déchets comportant, pour la plupart, une radioactivité ajoutée de l'ordre de quelques Bq/g ;
- des anciens dépôts de déchets à radioactivité naturelle élevée<sup>95</sup> situés dans des installations qui ne relèvent pas de la réglementation des installations classées.

Afin d'assurer au mieux la gestion responsable et sûre des situations historiques précédemment décrites, des dispositions ont été prises par les précédentes éditions du PNGMDR pour initier une démarche d'identification et de surveillance des stockages historiques, ainsi que de définition des stratégies de gestion à mettre en œuvre ou à poursuivre. L'état des connaissances, les actions de surveillance menées et les modalités de gestion actuellement mises en œuvre pour les stockages identifiés sont présentés dans le présent chapitre.

---

<sup>94</sup> Arrêté du 31 décembre 1999 modifié fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base. Cet arrêté a été remplacé le 1<sup>er</sup> juillet 2013 par l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.

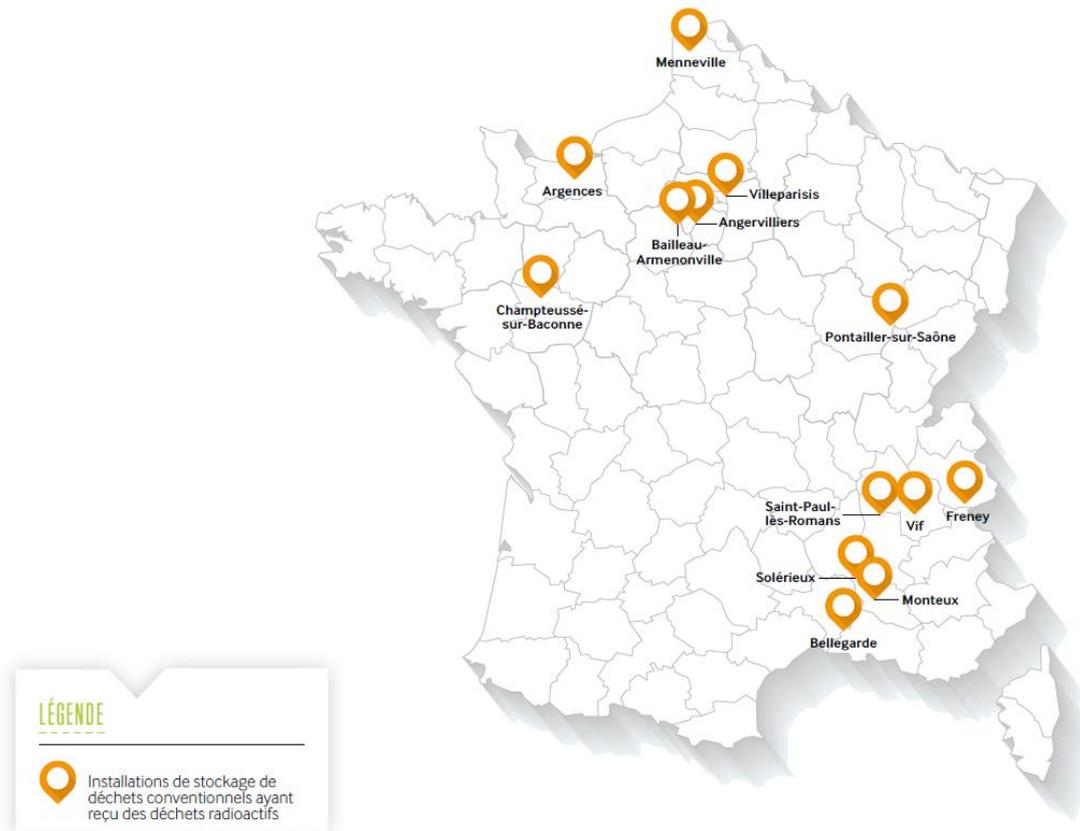
<sup>95</sup> Autrefois dénommés « déchets à radioactivité naturelle renforcée » (RNR).

### **3.1.2 Les stockages historiques de déchets radioactifs dans les installations de stockage de déchets conventionnels**

Des déchets de très faible activité ont pu être stockés dans des installations de stockage de déchets conventionnels. Ce sont essentiellement des boues, terres, résidus industriels, gravats et ferrailles provenant de certaines activités historiques de l'industrie conventionnelle ou de l'industrie nucléaire civile ou militaire.

La réglementation interdit le stockage de déchets radioactifs dans les installations de stockage de déchets non dangereux, les installations de stockage de déchets dangereux et les installations de stockage de déchets inertes, depuis respectivement 1997, 1992 et 2004. Ces textes imposent une vérification des déchets préalablement à leur admission, en complément de leur caractérisation qui relève prioritairement de la responsabilité du producteur (article L. 541-7-1 du code de l'environnement). Les contrôles réalisés à l'admission portent sur la vérification des critères fixés dans l'autorisation d'exploiter. Les installations de stockage de déchets dangereux et les installations de stockage de déchets non dangereux doivent disposer des moyens de détection de la radioactivité et mettre en œuvre des procédures de gestion spécifique des déchets en cas de dépassement des seuils d'alarme associés aux moyens précités.

L'Inventaire national des déchets radioactifs publié en 2015 recense treize installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets radioactifs. Ces installations, localisées sur la carte ci-après, comprennent notamment l'installation de stockage de Vif (38) qui a reçu les résidus de procédés de fabrication de l'usine de Cézus, celle de Menneville (62) où ont été stockés les résidus de transformation de phosphates, celles de Pontailier-sur-Saône (21) et Monteux (84) qui ont reçu respectivement des déchets provenant de boues d'épuration du centre d'études de Valduc et de la fabrication d'oxyde de zirconium et celle de Solérieux (26) qui contient des fluorines provenant de l'usine Areva NC de Pierrelatte (ex-Comurhex).



*Installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets radioactifs (Source : Andra)*

Des contrôles radiologiques ont été menés sur des sites représentatifs recensés dans l'Inventaire national. Ceux ayant reçu le plus de déchets radioactifs, comme Solérieux ou Vif, font l'objet de mesures de surveillance, notamment un suivi radiologique des eaux souterraines dans le cadre de la surveillance post-exploitation.

### **3.1.3 Les stockages historiques de déchets radioactifs au sein ou à proximité d'INB ou d'INBS**

Le PNGMDR 2013-2015 a demandé aux exploitants d'installations nucléaires de base et de base secrètes (Areva, CEA et EDF) de poursuivre la démarche de recherche de stockages historiques engagée par les précédentes versions du PNGMDR afin de vérifier qu'il n'existe pas dans le périmètre de ces installations ou dans des zones historiquement utilisées comme dépendances ou satellites, de stockages historiques qui n'auraient pas été déclarés à l'Andra pour l'inventaire des matières et déchets radioactifs<sup>96</sup>.

<sup>96</sup> Les rapports remis par Areva, le CEA et EDF sont disponibles sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

Le programme d'investigations défini par les exploitants lors du PNGMDR 2010-2012, repose sur :

- un recensement établi sur la base de la documentation relative à la gestion des déchets, des enquêtes historiques et de la surveillance (historique) de l'environnement ;
- une étape d'analyse et d'audits (interviews), éventuellement complétée par des mesures *in situ* ;
- une définition de la stratégie de gestion en cas de découverte de stockages historiques de déchets.

Les exploitants ont orienté leurs recherches sur les déchets radioactifs au sens de l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement : « *déchets contenant des radionucléides dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection* ». Bien que la démarche de zonage déchets n'ait été rendue obligatoire qu'avec l'arrêté du 31 décembre 1999 (fixant une échéance au 15 février 2001 pour l'élaboration du zonage déchets), les déchets « susceptibles d'être contaminés ou activés » n'ont pas été *a priori* écartés du cadre des investigations menées, compte-tenu du fait que les données disponibles ne permettaient généralement pas de déterminer l'origine des déchets, ni de disposer de leurs caractéristiques radiologiques. L'ensemble des déchets stockés est donc pris en compte dans un premier temps, puis des investigations complémentaires sont menées pour déterminer l'éventuel caractère radioactif des déchets considérés. Les exploitants ont indiqué, qu'en cas de doute, des mesures de surveillance des différents compartiments de l'environnement sont réalisées et qu'en l'absence de détection, les déchets sont considérés comme conventionnels. Les exploitants ont également indiqué que la démarche de vérification et de contrôle complémentaire réalisée sur la base d'interviews de personnes n'ayant pas été impliquées dans le recensement initial peut constituer une deuxième ligne de défense indépendante.

À fin 2014, Areva, le CEA, ainsi qu'EDF pour les sites en démantèlement et treize installations en fonctionnement ont poursuivi la recherche de stockages historiques de déchets. Les exploitants ont précisé que des investigations complémentaires restaient toutefois à mener sur certaines zones dans lesquelles des stockages historiques sont suspectés.

**R1 – Les stockages historiques découverts doivent être recensés par les exploitants indépendamment de leur ampleur et des conditions de reprises envisagées ou mises en œuvre. Une mise à jour des recensements de stockages historiques doit être réalisée en conséquence, intégrant les résultats des études documentaires et historiques associées et de mesures.**

**R2 – Les investigations d'Areva, du CEA et d'EDF devront être terminées avant fin 2017, notamment pour les zones où des stockages historiques sont suspectés. La qualité de ces investigations doit être suffisante pour que les exploitants soient en mesure de se prononcer sur l'exhaustivité du recensement de ces stockages.**

**R3 – L'inventaire physique et radiologique des stockages découverts devra également être précisé avant fin 2017, en particulier dans le centre nucléaire de production d'électricité de Chooz A pour EDF.**

Dans l'attente de leur identification complète, les stockages historiques présentent des risques pour les chantiers susceptibles d'intervenir sur site qui doivent être pris en compte. Afin de

prévenir au mieux ces risques pour l'avenir, la conservation de la mémoire est un point à renforcer.

**R4 – Quelles que soient les investigations préalables réalisées ou qui l'auront été, Areva, le CEA et EDF doivent maintenir la vigilance lors des opérations de terrassement ou de démantèlement dans les sites nucléaires et prendre en compte l'éventualité de découvrir d'autres stockages historiques à ces occasions.**

**R5 – Les exploitants doivent prendre des dispositions permettant de maintenir la mémoire des stockages historiques.**

Les principaux stockages historiques de déchets identifiés ainsi que les mesures de surveillances mises en place sont présentés ci-dessous. Le cas particulier des déchets contenus dans les bassins du site de Malvési est traité dans le chapitre 4.3 de ce PNGMDR.

#### La butte du « Bugey »

La présence d'environ 130 m<sup>3</sup> de résines échangeuses d'ions (non radioactives selon les critères de l'époque), enfouies entre 1979 et 1984 au droit d'une butte artificielle d'environ 1 million de m<sup>3</sup> de remblais a été mise en évidence en 2005 au cours des premières études d'implantation de l'installation ICEDA au sud du site de Bugey. Cette butte est constituée de déblais naturels divers et de déchets non radioactifs issus de la construction des différentes unités de production. La surveillance de la qualité des eaux souterraines de cette zone est assurée par onze piézomètres répartis autour de la butte.

#### La butte de Pierrelatte

La butte, d'une superficie d'environ 37 000 m<sup>2</sup>, a été formée au début des années 1960. Entre 1964 et 1977, des tranchées ont été réalisées afin d'y stocker environ 15 000 m<sup>3</sup> des déchets comprenant des barrières de diffusion et des filtres, des fluorines issus du traitement de l'uranium et des boues chromatées. Un plan de surveillance de la qualité de la nappe est en place depuis 1998. La poursuite d'exploitation de la partie nord de cette butte a été autorisée sous le statut d'ICPE : « Entreposage de déchets historiques du site de Pierrelatte » après mise en couverture imperméable en 2013.

#### La zone nord de Pierrelatte

Des déchets provenant du démantèlement du bâtiment ayant abrité le pilote d'enrichissement de l'uranium par traitements chimiques (procédé CHEMEX) dont l'activité a été arrêtée en 1989, ont été stockés dans douze fosses de rétention de la zone nord. Ces déchets représentent un volume d'environ 300 m<sup>3</sup>. Un pilote d'assainissement a été réalisé fin 2010 – début 2011 sur deux fosses confirmant la nature des déchets enfouis (gravats, terres et galets). Les déchets de ces deux fosses (environ 100 m<sup>3</sup>), contaminés en uranium naturel et en mercure, sont conditionnés pour partie et entreposés en attente de filière.

#### La zone d'entreposage de déchets inertes (ZEDI) sur le site de Cadarache

La ZEDI est une zone d'enfouissement de déchets créée à l'ouverture du centre sur laquelle 192 000 m<sup>3</sup> de déchets inertes ont été stockés entre 1961 et 2007, dont 1650 m<sup>3</sup> de déchets contaminés (4 600 MBq) enfouis entre 1963 et 1991. Le réseau de piézomètres a été complété en 2002. Il permet d'assurer la surveillance de la nappe.

### Bâtiment 133 sur le site de Saclay

Des remblais de déchets TFA (17 m<sup>3</sup> de débris en grès d'ancienne canalisation et 57 m<sup>3</sup> de gravats et terres) ont été mis en place au niveau des fondations nord et sud du bâtiment 133 du centre de Saclay. Un retrait éventuel est envisageable à terme dans le cadre de la déconstruction (non programmée) du bâtiment 133.

### Bassin bétonné de l'ancien pilote de dégainage de Marcoule

Il s'agit d'un ancien bassin de la STEL qui a été équipé pour dégainer sous eau les combustibles pendant quelques mois avant que l'atelier dégainage soit mis en actif en 1959. Ce bassin semi-enterré a été ensuite entièrement rempli de béton, avec quelques machines et matériels ayant servi au procédé de dégainage laissés à l'intérieur. Ce bassin d'un volume total de 1 116 m<sup>3</sup> est entièrement isolé du procédé, toutes les tuyauteries ayant été déposées et il a été étanché en partie supérieure. Un contrôle trimestriel de contamination surfacique est réalisé par le CEA. Aucune anomalie n'a à ce jour été constatée.

### La dépositrice interne de Marcoule

Il s'agit d'une zone de dépôt d'environ 126 000 m<sup>3</sup> dans la zone du Visiatome. Les investigations menées n'indiquent pas de marquage radiologique mais cette zone est classée comme la zone ZEDI (voir ci-avant) par précaution et par cohérence avec les pratiques de gestion mise en œuvre au cours du temps dans les différents centres.

### Les tranchées de la zone nord CDS de Marcoule

De 1963 à 1993, quatre tranchées d'environ 50 000 m<sup>3</sup> au total ont été successivement exploitées dans la zone nord CDS pour recevoir des déchets nucléaires de faible et très faible activité. Ces déchets sont principalement constitués de gravats et de terres dont le conditionnement en fûts n'était pas requis à l'époque et dont l'évacuation en décharge conventionnelle n'était pas acceptable.

### Les puits d'expérimentations du Polygone d'Expérimentation de Moronvilliers (PEM)

Il existe une centaine de puits contenant les résidus des expérimentations pour les programmes de la Défense qui y ont été menées. Ces puits ont été comblés et obturés. Dans le cadre du recensement des sites et sols pollués, le CEA a déclaré le site du PEM dans la base de données BASOL en mai 1997. L'ensemble du site, y compris la centaine de puits, fait l'objet d'une surveillance environnementale renforcée dont les résultats sont régulièrement transmis à l'ASND et au Préfet.

### Les six premiers stockages de déchets conventionnels de Valduc

Jusqu'au début des années 90, du fait de l'isolement du centre, les déchets ménagers et industriels banals ainsi que les gravats étaient mis en décharge, en six endroits sur le centre, conformément aux normes de l'époque et aux pratiques de l'ensemble des communes françaises. Ces stockages ont concerné principalement des matières banales, non dangereuses, déposées dans les points creux, tels que les amorces ou départs de combe. Les déchets et gravats ont ainsi été utilisés pour aplanir les zones en question. Un marquage radiologique ne peut pas être exclu du fait des pratiques anciennes de décontamination. Les volumes concernés étant importants (de 100 000 à 150 000 m<sup>3</sup> estimés) et leur niveau de contamination radioactive étant estimés nul ou très faible par le CEA, celui-ci n'envisage aucune reprise. Ces aires de stockage font cependant l'objet d'une surveillance, notamment par des piézomètres situés en aval des zones de stockage, ce qui permet de constater qu'aucun élément radioactif susceptible de polluer les nappes phréatiques ne s'en échappe.

### Le stockage de l'aire 045 de Valduc

Cette aire a principalement accueilli les terres contaminées issues de l'opération de remédiation de la combe « au tilleul » réalisée en 1995. Elle est constituée d'un silo, dont le fond et les parois sont tapissés d'une membrane, en sandwich entre deux couches de tissu géotextile, le tout recouvert de sable. Le confinement est ainsi assuré. Ces terres ont une activité faible (en moyenne de 1 Bq/g et au maximum inférieur à 10 Bq/g). Le volume concerné est de 8 990 m<sup>3</sup>. Cette aire de stockage fait l'objet d'une surveillance, notamment par des piézomètres situés en aval, ce qui permet de constater qu'aucun élément radioactif susceptible de polluer les nappes phréatiques ne s'en échappe.

Au total, une dizaine de stockages historiques est à ce jour recensée au sein ou à proximité des installations nucléaires. Ces stockages, hors Areva NC de Malvési (ex-Comurhex), représentent quelques dizaines de milliers de mètres cubes de déchets majoritairement TFA qui sont répartis dans environ 1,5 million de m<sup>3</sup> de déchets conventionnels (essentiellement des terres et gravats).

Concernant les stratégies de gestion actuellement prévues et mises en œuvre par les exploitants pour les stockages identifiés :

- EDF indique que les stockages historiques contenus dans les piscines A1 (gravats) et A2 (protections biologiques) de Chinon et de Chooz A (gravats dans le local HN041) seront éliminés dans des filières dédiées aux déchets radioactifs lors de la déconstruction des installations ;
- Areva, le CEA et EDF (en dehors des cas ci-dessus) précisent qu'à ce jour, aucune filière de gestion externe n'est envisagée en l'absence de marquage de l'environnement. Les stockages historiques considérés sont surveillés dans le cadre plus général des programmes de surveillance de l'environnement des sites et des dispositions permettant de conserver la mémoire de la présence de déchets sont mises en œuvre le cas échéant (définition de servitudes spécifiques tenant compte de la nature de l'activité, de son historique et des éventuels risques résiduels) ;
- Areva, le CEA et EDF indiquent qu'en cas de marquage significatif de l'environnement imputable à un stockage historique de déchets, des solutions de gestion seraient identifiées au cas par cas sur la base d'une analyse « coût/bénéfice » intégrant l'ensemble des impacts environnementaux.

L'ASN et l'ASND ont rendu leurs avis les 9 février 2016<sup>97</sup> et 29 avril 2016 sur les études transmises par les exploitants.

**R6 – Les déchets découverts lors des investigations relatives à la recherche de stockages historiques devraient préférentiellement faire l'objet d'une gestion dans les filières existantes ou en projet, tout particulièrement lorsque les quantités et la nature des déchets le permettent.**

**R7 – Les arguments conduisant l'exploitant à se prononcer, au cas par cas, en faveur de la poursuite d'une gestion *in situ* d'un stockage historique, devront être suffisamment étayés, y compris en termes de coûts, pour permettre d'apprécier les raisons de ce choix au regard des enjeux de sûreté et de protection des intérêts mentionnés notamment à l'article L. 593-1 du code de l'environnement. L'analyse des modes de gestion *in situ***

<sup>97</sup> L'avis n° 2016-AV-0255 de l'ASN sur les études relatives à la gestion des stockages historiques est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

**devrait également prendre en compte la possibilité de prendre des mesures complémentaires (dispositifs de confortement environnemental...).**

**R8 – Les éléments explicitant les modes de gestion retenus par les exploitants pour chaque stockage historique doivent être remis avant fin 2017.**

### 3.1.4 Les anciens stockages de déchets à radioactivité naturelle élevée

Plusieurs dizaines de dépôts de déchets contenant de la radioactivité naturelle élevée sont présents sur le territoire français. Il s'agit de déchets de phosphogypses provenant de la production d'engrais, de résidus de la production d'alumine et de cendres de charbon issues des centrales thermiques, dont certains sont encore valorisables. Par ailleurs, certains travaux d'aménagements urbains ont également utilisé par le passé des remblais de matériaux issus de l'industrie conventionnelle mais présentant de faibles activités radiologiques. C'est le cas des zones portuaires de La Rochelle dont les installations ont été remblayées par des résidus provenant des activités historiques de production de terres rares à partir de minerai de monazite.

Un premier état des lieux<sup>98</sup> de la situation de ces sites a été réalisé pour l'ASN par l'association Robin des Bois en 2005 et 2009. Une cinquantaine de sites sont dénombrés, dont 46 sites de dépôts de cendres, cinq de phosphogypses et cinq de résidus issus de la production d'alumine. La plupart de ces sites ne sont plus exploités et sont soit réaménagés, soit déstockés (valorisation) : ils sont donc considérés comme des stockages historiques de déchets à radioactivité naturelle élevée. Une dizaine reste encore exploitée dans le cadre de la valorisation des cendres. Les cinq sites de stockages de résidus issus de la production d'alumine à partir de bauxite sont recensés dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur à : Vitrolles, Aygalades, La Barasse Saint-Cyr, La Barasse Montgrand et Gardanne (ce site est encore en activité et exploité par la société RIO TINTO ALCAN).

Les sites recensés sont encadrés par l'arrêté du 25 mai 2005<sup>99</sup> qui demande aux exploitants des installations mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives de réaliser une étude destinée à mesurer les expositions aux rayonnements ionisants d'origine naturelle et à évaluer les doses auxquelles la population et les travailleurs sont susceptibles d'être soumis. En application de cet arrêté, les deux principaux exploitants EDF et E.ON France (ex. SNET) ont chacun remis en 2007 leur étude générique sur l'impact radiologique des sites de stockage des cendres de combustion des centrales thermiques, montrant qu'aucune dose reçue tant par la population que par les travailleurs ne dépassait 1 mSv/an<sup>100</sup>.

Afin de confirmer les résultats des études génériques et de prendre en compte les recommandations du HCTISN<sup>101</sup> de favoriser la connaissance des marquages radiologiques et

<sup>98</sup> Les rapports établis par Robin des Bois sont disponibles sur le site [www.robindesbois.org](http://www.robindesbois.org) : « la radioactivité naturelle technologiquement renforcée » et « les cendres de charbon et les phosphogypses ».

<sup>99</sup> Arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives.

<sup>100</sup> Cette dose correspond à la dose maximale admissible pour le « public » fixée à l'article R. 1333-8 du code de la santé publique : « la somme des doses efficaces reçues par toute personne n'appartenant pas aux catégories mentionnées à l'article R. 1333-9, du fait des activités nucléaires, ne doit pas dépasser 1 mSv/an. »

<sup>101</sup> Cf. Avis du HCTISN du 6 novembre 2008 sur le suivi radioécologique des eaux autour des installations nucléaires et sur la gestion des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs.

chimique des eaux souterraines des sites où ont été entreposés des déchets radioactifs, les pouvoirs publics ont demandé<sup>102</sup> aux exploitants actuels des centrales thermiques à charbon de réaliser des contrôles radiologiques autour des dépôts de cendres de combustion. Ces contrôles incluent la réalisation de deux campagnes de prélèvements d'eaux souterraines (l'une en période de hautes eaux et l'autre en période de basses eaux) représentatives d'un éventuel marquage par des radioéléments issus des entreposages sur site des cendres de combustion des centrales thermiques, et l'étude des voies d'exposition atmosphérique par une analyse des envols de poussières pour les sites où ce risque est susceptible de se présenter.

L'avancement des campagnes de prélèvement pour les anciens dépôts de cendres de charbon est le suivant :

- pour les dépôts relevant de la responsabilité d'EDF :
  - o l'analyse des eaux souterraines sur les sites prioritaires (Blénod, La Maxe, Bouchain, Le Havre et Cordemais) a été réalisée et montre l'absence d'anomalie particulière ;
  - o les sites sur lesquels l'exploitation a cessé (Champagne-sur-Oise, Vaires-sur-Marne, Allennes-les-Marais, Pont-sur-Sambre, Beautor et Saint-Leu-d'Esserent) ont également fait l'objet d'analyses. Les conclusions ont été rendues et montrent l'absence d'anomalie particulière ;
  - o des analyses doivent encore être menées sur certains sites particuliers (absence de cendres, l'exploitant n'est plus propriétaire...) ;
- pour les dépôts relevant de l'exploitant E.ON (SNET), les campagnes de mesure ont été réalisées et montrent l'absence d'anomalie particulière ;
- pour les dépôts des autres exploitants (Azko-Nobel, Colas, Surchiste, Vermeulen-SA, dont certains valorisent les cendres) : certaines études sont en cours, d'autres ont déjà été transmises et sont en cours d'instruction ;
- pour les quatorze sites ayant relevé de la responsabilité de Charbonnages de France, l'impact radiologique des stockages de cendres a été évalué en septembre 2010 sur cinq sites du Nord-Pas-de-Calais (Choques, Dechy, Fouquereuil, Fouquières-les-Lenz, Hallicourt) par le BRGM et l'IRSN<sup>103</sup>. L'impact radiologique associé aux stockages de cendres sur les sites examinés est négligeable et il n'a pas été mis en évidence d'éventuel transfert de pollution vers les eaux souterraines. Pour les neuf autres sites où il n'existe plus d'exploitant identifié, les éventuelles pollutions radioactives liées à la présence de cendres de charbon ont été recherchées, à la demande de la DGPR, par le BRGM et l'IRSN. Les études réalisées entre 2012 et 2014 n'ont pas mis en évidence d'impacts occasionnés par ces dépôts.

Une action similaire est également menée pour les dépôts de phosphogypses provenant de la production d'engrais (cinq dépôts sont aujourd'hui recensés : Anneville-Ambourville, Saint-Etienne du Rouvray, Rogerville, Douvrin, Wattlelos), pour lesquels une surveillance radiologique, notamment sur les eaux souterraines, est actuellement entreprise.

---

<sup>102</sup> Cf. Circulaire du 18 juin 2009 relative à la mise en œuvre des recommandations du HCTISN, qui demande de s'assurer que sur les sites de stockage ou d'entreposage de déchets radioactifs (hors INB et hors INBS), la surveillance environnementale est adaptée, et de prendre le cas échéant des mesures appropriées (notamment par des campagnes ciblées de mesures).

<sup>103</sup> Le rapport est disponible sur le site internet <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr>, rubrique « la dreal », « actualités », « dépôt des cendres de charbon ».

### 3.2 La gestion des résidus de traitement miniers et des stériles

En France, les mines d'uranium ont été exploitées entre 1948 et 2001. Les activités d'exploration, d'extraction et de traitement ont concerné environ 250 sites répartis sur 27 départements français. Le traitement des minerais a été effectué dans huit usines.

L'exploration et l'exploitation des mines d'uranium ont généré :

- des «stériles miniers» constitués des roches excavées pour accéder aux minéralisations économiques ;
- des « résidus de traitement » constitués des produits restant après extraction par traitement de l'uranium.

Compte tenu des grandes quantités des déchets produits, la gestion actuelle retenue pour ces substances est une gestion *in situ*, incluant une vérification des dispositions mises en œuvre pour limiter l'impact actuel et à long terme aussi bas que raisonnablement possible. Les sites de stockage de résidus miniers relèvent de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement, sous la responsabilité d'Areva.

Les études menées par Areva permettent de disposer d'ores et déjà d'éléments d'évaluation des impacts à long terme des stockages des résidus de traitement. Celles remises dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 ont ainsi plus particulièrement permis :

- d'apporter des éléments concernant la modélisation de l'impact des stockages de résidus miniers ;
- d'améliorer la connaissance des phénomènes de transport de l'uranium des verses à stériles vers l'environnement ;
- d'améliorer la connaissance des mécanismes régissant la mobilité de l'uranium et du radium au sein des résidus miniers uranifères.

Concernant les stériles miniers, Areva poursuit le traitement des lieux de leur réutilisation en dehors du périmètre des anciens sites miniers dans le cadre de la campagne de recensement engagée depuis 2009.

Concernant le traitement des eaux et l'impact des rejets issus des anciens sites miniers, le bilan d'étape remis apporte des éléments pour alimenter la réflexion sur la stratégie d'évolution du traitement des eaux issues des anciens sites miniers.

Concernant les digues ceinturant les stockages de résidus, les travaux du sous-groupe de travail au groupe de travail du PNGMDR permettent de disposer d'une méthodologie d'évaluation de leur tenue mécanique à long terme.

**Ces différentes études nécessitent d'être poursuivies dans le cadre des deux prochains PNGMDR afin de compléter les études concernant l'évolution à long terme des résidus de traitement et des stériles miniers, compléter la méthodologie d'évaluation de la tenue à long terme des digues, d'étudier les possibilités d'évolution ou d'arrêt des stations de traitement des eaux et *in fine* de proposer des actions concrètes de réduction des risques et des impacts sur les différents sites. S'agissant des stériles miniers, le traitement des sites présentant des stériles en dehors doit être poursuivie.**

**La démarche de concertation doit aussi se poursuivre avec les parties prenantes sur l'ensemble de ces sujets, dans le cadre du PNGMDR mais également au niveau local.**

### 3.2.1 Contexte et enjeux

L'exploitation des mines d'uranium en France entre 1948 et 2001, a conduit à la production de 76 000 tonnes d'uranium. Les activités d'exploration, d'extraction et de traitement, de simples travaux de reconnaissance à des chantiers d'exploitation de grande ampleur, ont concerné en France environ 250 sites sur 27 départements. Le traitement des minerais était réalisé dans huit usines.

La plupart de ces sites sont décrits dans l'Inventaire national des sites miniers d'uranium « MIMAUSA »<sup>104</sup> élaboré en 2004 par l'IRSN à la demande du ministère en charge de l'environnement et qui est régulièrement mis à jour.

L'exploitation des mines d'uranium a produit environ :

- 170 millions de tonnes de **stériles miniers** qui désignent les produits constitués des sols et roches excavés pour accéder aux minéralisations d'intérêt avec, d'une part, les stériles francs dont la teneur moyenne en uranium correspond à la teneur caractéristique du bruit de fond naturel ambiant<sup>105</sup>, et d'autre part, les stériles de sélectivité constitués par des roches minéralisées excavées lors de l'exploitation d'un gisement mais dont les teneurs étaient insuffisantes pour justifier d'un traitement sur le plan économique (teneurs qui ont fluctué dans le temps dans une gamme comprise entre 100 et 400 ppm<sup>106</sup>) ;
- 50 millions de tonnes de **résidus de traitement** qui désignent les produits restant après extraction de l'uranium contenu dans le minerai par traitement statique ou dynamique. Les résidus correspondent de fait à des déchets de procédé au sens du code de l'environnement et les sites de stockage sont des ICPE sous la rubrique 1735.

Pour l'essentiel, les stériles sont restés sur leur site de production, en comblement des mines à ciel ouvert ou des ouvrages miniers souterrains tels que les puits, et ont été utilisés pour les travaux de réaménagement en couverture des stockages de résidus ou placés en tas sous forme de versés. Areva estime qu'environ 2 millions de tonnes de stériles miniers<sup>107</sup> soit 1 à 2 % des volumes extraits, ont également pu être utilisés comme matériaux de remblai, de terrassement ou en tant que soubassements routiers sur des lieux situés en dehors du périmètre des sites miniers.

Les résidus de traitement sont stockés sur dix-sept sites<sup>108</sup>, tous à proximité des installations de traitement de minerai d'uranium et correspondent à des déchets de type TFA ou FAVL caractérisés par leur granulométrie et leur activité massique.

Environ 20 millions de tonnes, sont des **résidus de traitement de minerais à faible teneur moyenne** (activité massique moyenne totale de 44 Bq/g, dont environ 4 Bq/g de radium 226), issus de la lixiviation statique. Ils sont stockés soit en versés, soit en mines à ciel ouvert, ou utilisés comme première couche de couverture des stockages de résidus de traitement de lixiviation dynamique ;

---

<sup>104</sup> L'inventaire MIMAUSA (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) est accessible sur le site internet de l'IRSN : <http://www.irsn.fr>, rubrique « accueil », « base documentaire », « environnement », la surveillance de l'environnement », « les sites miniers d'uranium ».

<sup>105</sup> À titre d'exemple, la teneur caractéristique du bruit de fond naturel ambiant se situe entre 0,4 et 2,5 Bq/g U naturel dans le Limousin.

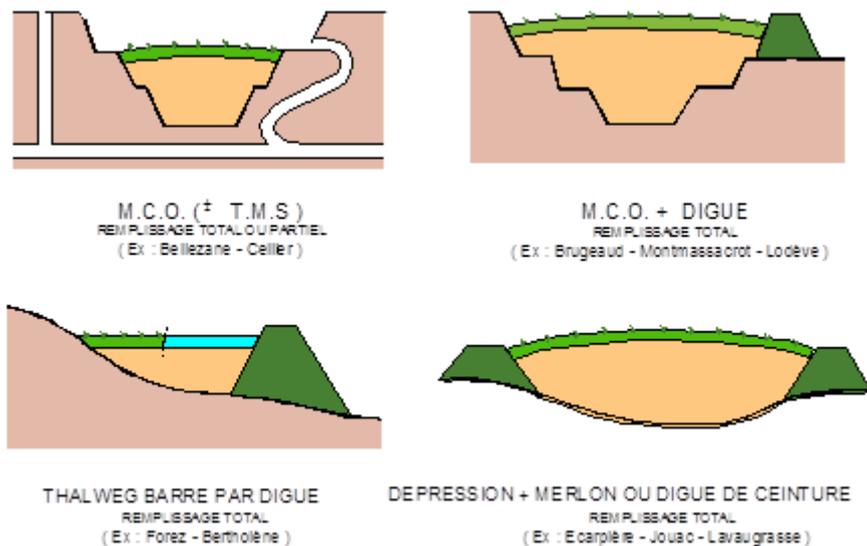
<sup>106</sup> C'est-à-dire des roches de teneurs inférieures à 8 Bq/g en activité totale.

<sup>107</sup> D'après Areva, les stériles réutilisés ont des teneurs inférieures à 2,5 Bq/g en activité totale

<sup>108</sup> Ces stockages vont d'une superficie de un à quelques dizaines d'hectares et renferment de quelques milliers à plusieurs millions de tonnes de résidus.

**Les résidus de traitement de minerais à forte teneur moyenne** (activité massique moyenne totale de 312 Bq/g, dont environ 29 Bq/g de radium 226), qui sont issus de la lixiviation dynamique et qui sont stockés soit dans d'anciennes mines à ciel ouvert avec parfois une digue complémentaire, soit dans des bassins fermés par une digue de ceinture ou derrière une digue barrant un thalweg, représentent environ 30 millions de tonnes.

Le réaménagement des sites de stockage de résidus a consisté en la mise en place d'une couverture solide sur les résidus pour assurer une barrière de protection géomécanique et radiologique permettant, en application du principe d'optimisation, de limiter les risques d'intrusion, d'érosion et de dispersion des produits stockés ainsi que ceux liés à l'exposition externe et interne des populations alentours au radon. L'accès à ces sites de stockage de résidus reste néanmoins interdit au public.



*Différents types de stockages de résidus miniers  
(MCO : Mine à ciel ouvert, TMS : Travaux miniers souterrains)*

Les autres sites d'extraction minière ont également été réaménagés selon le même objectif d'optimisation. Contrairement aux sites de stockage de résidus, une majeure partie des terrains concernés a été restituée aux usages précédant l'exploitation des mines ou a été réaménagée pour de nouveaux usages<sup>109</sup>.

### 3.2.2 Cadre réglementaire

Les mines d'uranium et leurs dépendances relèvent du code minier. Le code minier a été créé par le décret du 16 août 1956 et se fonde sur la loi fondamentale sur les mines du 21 avril 1810. La notion de mine qui en découle repose sur la nature du matériau, que l'extraction se fasse à ciel ouvert ou en souterrain. En France, le droit commun précise que « la propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous » (cf. article 552 du code civil). Toutefois, le code minier crée une nuance à cette règle en précisant que les substances dites de « mines » sont concessibles par l'État. Elles échappent ainsi au droit de propriété et l'État en attribue l'usage et en fixe les conditions d'exploitation.

<sup>109</sup> À titre d'exemple, une mine à ciel ouvert envoyée après arrêt de l'exploitation a pu être réaménagée en réserve d'eau ou centre de plongée.

Les matériaux concernés sont toutes les substances utiles à l'économie, dont la liste est fixée par l'article L.111-1 du code minier, comme les combustibles (houille, pétrole et gaz), les métaux (nickel, or, fer, cuivre, uranium...), d'autres substances susceptibles d'avoir un usage industriel (gaz carbonique, sel, soufre...) et la géothermie.

En droit minier, il faut bien distinguer :

- Le droit exclusif sur la substance accordé par un titre minier : un permis exclusif de recherches pour l'exploration, ou une concession pour l'exploitation. Les concessions attribuées pour les mines d'uranium sont récentes et ont une durée « limitée » fixée par leur décret d'institution. Seules les concessions attribuées pour les mines d'uranium de 1810 à 1919 et 1955 à 1977, ont une durée dont l'échéance a été fixée ultérieurement au 31 décembre 2018<sup>110</sup> ;
- L'ouverture de travaux de recherches ou d'exploitation : accordée par décision préfectorale (déclaration ou autorisation) au titre du pouvoir de police des mines exercée par le préfet sans forcément obtenir l'accord du propriétaire du sol. Cette autorisation se rapporte à la mise en valeur de la substance (travaux de recherches importants et travaux d'exploitation) et fixe les conditions d'exploitation de la mine dans le respect de différents intérêts fixés par le code minier à l'article L.161-1. Dans ce cadre, à la fin des travaux à l'issue de l'exploitation de la mine, sa mise en sécurité et la protection des intérêts visés à l'article L. 161-1 nécessitent une procédure d'arrêt des travaux.

Les risques liés à la radioprotection sont encadrés par les prescriptions du décret n° 90-222 du 9 mars 1990, complétant le règlement général des industries extractives institué par le décret n° 80-331 du 7 mai 1980 pour ce qui concerne la protection de l'environnement concernant les substances radioactives. Ce décret est actuellement en cours de révision.

À l'issue des travaux de fermeture et de réhabilitation d'un ancien site minier, la maîtrise de l'urbanisme peut s'avérer nécessaire, notamment dans le cadre de la gestion à long terme des sites. Plusieurs outils de maîtrise de l'urbanisation peuvent être mis en place, comme le porté à connaissance (PAC) aux communes concernées ou les plans de prévention des risques miniers (PPRM). L'objectif principal de ces outils est d'assurer la sécurité des personnes, tout en permettant une vie locale acceptable et en limitant les risques pour les biens.

Les résidus de traitement minier sont considérés comme des déchets industriels soumis aux dispositions de la réglementation relative aux ICPE<sup>111</sup> et les sites de stockages de ces résidus relèvent du régime d'autorisation au titre de la rubrique n° 1735 de la nomenclature des ICPE.

Enfin, concernant la gestion et le contrôle des anciens sites miniers d'uranium, le ministère du développement durable et l'ASN ont défini un plan d'actions, par circulaire du 22 juillet 2009, comportant les quatre axes de travail suivants :

1. contrôler les anciens sites miniers (inspections) ;
2. améliorer la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et la surveillance (prescription de bilans environnementaux notamment) ;

---

<sup>110</sup>À titre d'exemple des concessions attribuées pour l'uranium dont la durée limite est fixée par leur décret d'institution : concessions de La Varenne (2035), Champ Grenier (2039), Blanchetierre (2041) et concession de La Maillerie (2041). Pour mémoire, les concessions attribuées pour l'uranium entre 1919-1955 sont des concessions à durée limitée, celles attribuées entre 1955-1977 sont des concessions perpétuelles et celles attribuées après la loi du 16 juin 1977 portant modification du code minier sont des concessions à durée limitée.

<sup>111</sup> Cf. titre 1 du livre V du code de l'environnement, et en particulier son article R. 511-9.

3. gérer les stériles (mieux connaître leurs utilisations, recenser les lieux de réutilisation dans le domaine public, procéder à l'évaluation de leur impact dosimétrique et réduire les impacts si nécessaire en cas d'incompatibilité d'usage) ;
4. renforcer l'information et la concertation.

### 3.2.3 Les travaux du groupe d'expertise pluraliste du Limousin

Un groupe d'expertise pluraliste (GEP)<sup>112</sup> sur les mines d'uranium du Limousin a été mis en place en 2006 par les ministères du développement durable, de l'industrie et de la santé, ainsi que par l'Autorité de sûreté nucléaire afin de préciser les enjeux de la gestion à long terme des anciens sites miniers et des stockages de déchets générés dans le cadre d'un effort de dialogue et de concertation autour des anciens sites miniers d'uranium. La démarche du GEP a été engagée sur la base d'une analyse détaillée de certains sites du Limousin (région la plus concernée par l'exploitation passée) pour développer une vision plus large de la situation des anciens sites miniers d'uranium en France. Les conclusions et recommandations du GEP pour la gestion et l'évolution de l'encadrement réglementaire, de court à long terme, des anciens sites miniers d'uranium en France ont été rendues en 2010.

Le directeur général de la prévention des risques et le directeur général de l'ASN ont précisé par lettre du 25 avril 2012 au président du GEP les modalités de prise en compte des recommandations qui avaient été formulées. Les pouvoirs publics ont décidé de répartir les quinze grandes recommandations du GEP selon les quatre thématiques suivantes :

- rénover et clarifier le cadre institutionnel, réglementaire et doctrinaire,
- améliorer la connaissance et l'encadrement des sites,
- améliorer les connaissances scientifiques et techniques,
- prendre en compte les autres recommandations diverses.

En parallèle, les pouvoirs publics ont sollicité le GEP pour présenter aux acteurs locaux les recommandations qu'il avait formulées. À l'issue de ce travail, le GEP a remis le 4 novembre 2013 aux pouvoirs publics un rapport qui clôt plus de 7 années de travail sur l'héritage de l'exploitation minière de l'uranium en France. Au terme de ses travaux, le GEP souligne la nécessité de poursuivre et compléter les initiatives en cours pour aboutir à une prise en charge globale du devenir à long terme des sites. Il réaffirme également l'importance du pluralisme dont il a été porteur et appelle l'ensemble des acteurs, tant au niveau national que local, à prendre le relais de son action.

---

<sup>112</sup> Le GEP Limousin avait pour mission d'assurer le suivi régulier de la tierce expertise du bilan de fonctionnement transmis en décembre 2004 par Areva NC et de participer à son pilotage. Sa mission a ainsi consisté à porter un regard critique sur la situation des anciens sites miniers d'uranium, à éclairer l'administration et l'exploitant sur les perspectives de gestion à plus ou moins long terme, et d'autre part, à informer les acteurs locaux et le public de ses travaux et conclusions. Quatre sous-groupes de travail ont été définis : terme source et rejet, impact environnemental et sanitaire, cadre réglementaire à long terme, mesures.

### 3.2.4 Les enjeux liés à l'exploitation minière d'uranium

Plusieurs enjeux sont associés au réaménagement des anciens sites miniers d'uranium<sup>113</sup> :

- la surveillance des anciens sites miniers réaménagés ;
- la gestion des rejets diffus et le traitement des eaux ;
- la limitation des impacts vis-à-vis de l'homme et l'environnement ;
- la maîtrise de la réutilisation des anciens sites miniers réaménagés ainsi que des matériaux liés à cette exploitation (stériles, résidus).

Le GEP a identifié plusieurs objets, conséquences de l'exploitation minière qui constituent des sources potentielles de toxiques chimiques ou radiologiques, et dont le fonctionnement peut avoir un impact sur l'homme ou l'environnement<sup>114</sup> :

- les travaux miniers souterrains et à ciel ouvert (TMS et MCO),
- les verses à stériles,
- les stockages de résidus miniers,
- les stériles miniers réutilisés en dehors du périmètre des anciens sites miniers,
- les sols et sédiments constituant des zones d'accumulation des radionucléides.

Il apparaît utile de rappeler que même si certains sites ont été réaménagés, il reste nécessaire de poursuivre leur réhabilitation dans une vision de gestion à long terme. Il reste nécessaire de poursuivre le traitement des eaux collectées avant leur rejet. La réduction des rejets et l'amélioration du traitement des eaux, compte tenu notamment de l'évolution des normes de rejet en uranium et en privilégiant les « techniques douces<sup>115</sup> », constituent à ce titre des enjeux importants, en particulier au regard de l'impact sur les milieux environnants. Dans ce cadre, l'analyse des pratiques actuelles de traitement des eaux des sites miniers et des rejets liquides associés doit prendre en compte l'ensemble des risques chimiques et radiologiques, analyser leur impact sur l'environnement et notamment sur le marquage des sédiments accumulés dans les rivières, les lacs et les zones humides.

### 3.2.5 Gestion des anciens sites d'extraction minière

La plupart des sites ont déjà fait l'objet de travaux de mise en sécurité à la suite de l'arrêt de l'exploitation. Les anciens sites miniers d'uranium ont, à terme, vocation à retourner dans l'exercice classique de la propriété du sol (propriétés publiques ou privées). Au préalable, il revient à l'exploitant de réaliser les travaux nécessaires afin de limiter l'impact de ces sites sur l'environnement. Il incombe donc aux pouvoirs publics de définir les exigences permettant d'atteindre cet objectif et d'évaluer l'efficacité des travaux réalisés dans le cadre des procédures réglementaires de fin de travaux (second donné acte, acte permettant d'encadrer la surveillance du site sur le long terme).

---

<sup>113</sup> La terminologie « anciens sites miniers d'uranium » est utilisée au sens large et englobe tous les types d'installations d'extraction qui ont été exploités sur le site au cours de son histoire (les mines à ciel ouvert, les travaux miniers souterrains) mais aussi lorsqu'ils ont été transformés éventuellement en site de stockage de résidus de traitement minier.

<sup>114</sup> Cf. p. 54 du rapport final du GEP Limousin, septembre 2010.

<sup>115</sup> Technique sans apport chimique ou à faible impact sur le milieu environnant.

### 3.2.6 La gestion des rejets diffus et le traitement des eaux

Comme évoqué ci-dessus, il convient de réduire les rejets directs et diffus et d'améliorer le traitement des rejets, en particulier au regard de l'impact sur les milieux environnants.

Après avoir réalisé, dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, une évaluation des pratiques actuelles de traitement des eaux<sup>116</sup> mises en œuvre sur ses sites, Areva a remis un bilan d'étape concernant sa démarche engagée sur l'ensemble des stations de traitement de manière à définir et justifier la stratégie retenue pour l'évolution (arrêt, maintien, modification ou mise en œuvre de nouveaux procédés) du traitement des eaux collectées dans les anciens sites miniers relevant de sa responsabilité. Ce rapport en date du 17 février 2015<sup>117</sup> contient pour certaines stations :

- une description des procédés de traitement,
- une identification de l'origine des eaux traitées,
- des éléments concernant l'évolution de leur qualité et de l'impact des stations sur l'environnement,
- des éléments concernant les contraintes de maintenance et de gestion des boues produites par les stations
- et enfin une proposition de stratégie d'évolution.

Ces éléments sont en cours d'analyse. Conformément à la demande du PNGMDR 2013-2015, une étude finale sera remise dans le cadre du présent PNGMDR. Cette étude devra intégrer le cas échéant, les remarques issues de l'analyse en cours du bilan d'étape et formaliser une stratégie sur la poursuite des traitements par site (arrêt, maintien, modification ou mise en œuvre de nouveaux procédés) à proposer aux services compétents localement. Elle devra également intégrer l'évolution de la connaissance scientifique, notamment sur l'évolution à long terme des stériles miniers et des résidus miniers pour identifier les mécanismes géochimiques qui influenceront sur l'évolution naturelle de la qualité des eaux issues des sites miniers uranifères et l'évolution des normes réglementaires de rejet en uranium dans les eaux, dans le cadre des objectifs de la directive cadre sur l'eau et en lien avec la publication des normes de qualité environnementales révisées.

**R1 – Areva devra poursuivre et approfondir la démarche qu'elle a engagée pour quelques stations en l'étendant à l'ensemble des stations de traitement des eaux issues des anciens sites miniers uranifères de manière à définir et justifier la stratégie retenue pour l'évolution (arrêt, maintien, modification ou mise en œuvre de nouveaux procédés) du traitement des eaux collectées sur les anciens sites miniers relevant de sa responsabilité.**

**La stratégie retenue devra en particulier être justifiée au regard :**

- **des évolutions naturelles de la qualité des eaux envisageables sur chacun des sites compte tenu des mécanismes géochimiques en jeu et des tendances observées à ce jour ;**
- **de l'objectif de réduction de l'impact global des rejets sur l'homme et l'environnement en prenant en compte l'impact chimique associé aux différentes substances rejetées, y compris celles liées aux procédés de traitement des eaux,**

<sup>116</sup> 10 stations utilisent un procédé de précipitation décantation physico-chimiques, 3 des drains calcaires et 1 des membranes échangeuses d'ions.

<sup>117</sup> Le rapport remis par Areva est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

- des contraintes de gestion et d'élimination des boues et des déchets associées aux divers procédés mis en œuvre ou étudiés ;
- des contraintes de maintenance des procédés envisagés et les priorités de déploiement des solutions alternatives possibles.

Un bilan d'étape est demandé pour le 31 décembre 2017.

Le bilan complet de cette démarche est demandé dans le cadre du PNGMDR 2019-2021.

**R2 – L'ASN et la DGPR poursuivront le pilotage de la réflexion au sein du groupe de travail du PNGMDR relatif au choix de poursuivre (en améliorant autant que nécessaire les traitements) ou de mettre fin à un traitement des eaux issues des anciens sites miniers uranifères au regard de différents critères en particulier l'évaluation de l'impact global (radiologique et chimique) des rejets sur le milieu récepteur. Ce choix nécessite au préalable la définition de scénarios d'évolution prévisible des caractéristiques des eaux collectées compte tenu des processus géochimiques en jeu et des tendances observées.**

**I1 – Pourcentage de stations de traitement des eaux issues des anciens sites miniers uranifères pour lesquelles la stratégie pour l'évolution (arrêt, maintien, modification ou mise en œuvre de nouveaux procédés) du traitement des eaux collectées sur les anciens sites miniers a été définie.**

Par ailleurs, les évaluations d'impact menées par Areva apportent des enseignements importants pour apprécier les impacts associés aux différentes substances rejetées et ainsi définir les pistes d'optimisation à privilégier. En particulier, la contribution de la composante chimique des rejets apparaît prédominante dans l'estimation de leur impact possible sur l'environnement. Cette contribution s'avère plus particulièrement notable pour l'uranium mais également pour le baryum ajouté aux rejets par le traitement. À ce stade de l'évaluation des risques, les résultats obtenus par Areva pour ces deux éléments ne permettent pas d'écarter l'existence d'un risque potentiel sur les écosystèmes aquatiques des cours d'eau récepteurs. Les évaluations devront donc se poursuivre dans le cadre de la procédure d'arrêt définitif des travaux miniers. Les travaux menés au niveau européen dans le cadre du programme ERIKA devront être également pris en compte.

Le PNGMDR 2013-2015 a mis en évidence la nécessité d'améliorer les connaissances relatives au marquage des sédiments d'étangs, de cours d'eau ou de zones humides, liées aux quantités d'uranium et de radium rejetées dans le réseau hydrographique après traitement et aux rejets diffus. Pour cela, Areva a remis deux rapports intermédiaires concernant la relation entre les flux rejetés et l'accumulation de sédiments marqués dans les rivières et les lacs, comportant notamment une étude de la spéciation de l'uranium dans les eaux de l'ancienne mine des Bois Noirs Limouzat et une caractérisation des sédiments du lac de Saint Clément situé en aval du site. Areva a conclu, d'après les premières données récoltées, que l'uranium dans les rejets du site des Bois Noirs Limouzat est sous forme soluble et présente une spéciation telle qu'il n'est pas bio-disponible. Areva a également relevé qu'aucun marquage radiologique n'a été observé dans les eaux du plan d'eau en aval du site, excepté au niveau de son entrée, ce marquage datant de l'époque des travaux de réaménagement du site.

**R3 – Areva devra compléter l'étude portant sur la relation entre les flux rejetés par le site de Bois Noirs-Limouzat et l'accumulation des sédiments marqués dans le lac de Saint-Clément avec les résultats de caractérisations microbiologiques et des analyses des eaux interstitielles des sédiments du Lac de Saint Clément.**

**Cette étude est demandée pour le 31 décembre 2016.**

**R4 – Areva devra dans un second temps compléter cette étude avec :**

- une modélisation des transferts depuis les sites miniers jusqu'aux zones d'accumulation sédimentaires situées en aval sur la base des résultats de caractérisation acquis sur le bassin versant de La Besbre. Cette modélisation doit permettre de déterminer la dynamique de constitution du stock de sédiments marqués ;
- une modélisation du transfert des radionucléides fixés sur les phases porteuses des sédiments pour différents scénarios de gestion de ces sédiments appliqués aux sédiments du bassin versant de La Besbre afin de permettre de disposer des éléments indispensables à la prise de décision sur la gestion de ces sédiments.

**Un rapport d'étape est demandé pour le 31 décembre 2018.**

### 3.2.7 L'impact dosimétrique

La méthodologie d'évaluation de l'impact dosimétrique à long terme des stockages de résidus a été adaptée par Areva au cas des verses à stériles conformément à la première demande du PNGMDR 2007-2009. Quatre scénarios sont étudiés pour les verses à stériles : le scénario d'évolution normale, et trois scénarios d'évolution altérée à savoir une résidence sur la verse à stériles, un chantier de terrassement d'une route et une aire de jeux d'enfants. Quels que soient les scénarios, les évaluations faites par Areva retiennent une activité des stériles allant de 0,8 à 2,5 Bq/g. Les doses calculées ainsi obtenues restent toutes inférieures à 1 mSv/an<sup>118</sup>.

Areva a utilisé sa connaissance des sites, notamment au travers des bilans environnementaux<sup>119</sup> prévus par la circulaire du 22 juillet 2009, pour identifier la présence de verses à stériles. Areva présente dans un rapport d'étape daté du 17 décembre 2014<sup>120</sup> un inventaire des 165 verses à stériles présentes sur les anciens sites miniers uranifères français.

**R5 – Areva poursuivra la démarche engagée de recensement des verses à stériles, notamment au travers des bilans environnementaux prévus par la circulaire du 22 juillet 2009, en précisant :**

- celles présentant les teneurs en uranium les plus significatives,
- les niveaux d'exposition auxquels elles pourraient être associées pour les divers scénarios envisageables,
- les cas d'utilisation ou de réaménagement relevés sur ces sites.

**Ces informations devront être mises à la disposition du public au travers de la base informatique MIMAUSA. Ces actions devront être finalisées avant le 31 décembre 2017.**

**I2 – Nombre de verses à stériles recensées dans la base informatique MIMAUSA.**

<sup>118</sup> Valeur réglementaire figurant dans le code de la santé publique pour juger de la compatibilité des usages constatés au regard des contaminations observées. Il est à noter qu'elle correspond également à l'ordre de grandeur de l'exposition d'origine naturelle, hors radon, qui résulte principalement de l'exposition au rayonnement d'origine tellurique et cosmique.

<sup>119</sup> Les bilans environnementaux correspondent aux bilans de fonctionnement mentionnés dans la circulaire du 22 juillet 2009.

<sup>120</sup> Le rapport remis par Areva est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

Dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, Areva a réalisé une étude pour vérifier la présence ou l'absence de risques de marquage de l'environnement lié aux verses à stériles. Le rapport d'étape en date du 9 juillet 2013 présente les caractérisations minéralogiques fines des phases constitutives de stériles<sup>121</sup> altérés et non altérés, en particulier les phases porteuses d'uranium. Areva a conclu, à partir de ces premiers résultats, que les risques de marquage de l'environnement lié aux verses sont limités car l'uranium est principalement porté par des minéraux présentant une faible réactivité (minéraux réfractaires résistants à l'altération, minéraux phosphatés secondaire de type autunites faiblement solubles, minéraux argileux permettant d'immobiliser l'uranium par sorption). L'étude des phénomènes de transport de l'uranium des verses vers l'environnement avec les modélisations géochimiques correspondantes simulant les différentes perturbations envisageables au cours de l'évolution du site se poursuivra dans le cadre du présent PNGMDR.

**R6 – Areva poursuivra la démarche engagée sur l'étude des stériles miniers issus des anciennes mines uranifères en France, en particulier sur l'évolution des stériles miniers sur le long terme, et développe, pour les sites retenus dans son étude, des modèles géochimiques prédictifs de migration de l'uranium depuis les verses à stériles vers l'environnement en prenant en compte les scénarios d'évolution possibles des usages ainsi que des perturbations envisageables sur le long terme (perte d'intégrité de la verse, changement d'usage, événement climatique...). Areva devra justifier la cohérence entre sa conclusion relative à la faible mobilité de l'uranium et les marquages environnementaux observés sur les sites.**

**Cette étude est demandée pour le 30 juin 2018.**

**R7 – Areva devra ensuite vérifier et le cas échéant compléter son étude pour assurer la représentativité de son modèle pour l'ensemble des types de verses à stériles (contexte sédimentaire, condition hydrogéologique...). Cette étude est demandée pour le 31 décembre 2019.**

### **3.2.8 Gestion à long terme des sites de stockage des résidus du traitement de minerais**

Le stockage des résidus issus du traitement concerne dix-sept sites. La gestion retenue est une gestion *in situ* compte tenu des grandes quantités des résidus produits et après vérification que les dispositions mises en œuvre permettent de limiter aussi raisonnablement que possible l'impact à long terme.

Comme cela a été souligné par le GEP et les pouvoirs publics, il apparaît également nécessaire de disposer d'un cadre institutionnel, réglementaire et doctrinaire adapté à cette perspective de gestion à long terme des sites de stockage des résidus miniers et de certains anciens sites miniers. À cet effet, le ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer et l'ASN ont constitué en 2012, un groupe de travail pour prendre en compte cette recommandation. Un projet de guide, piloté par la DGPR, portant sur la doctrine administrative en matière de gestion des sites miniers uranifères est en cours de finalisation.

### **3.2.9 L'évolution à long terme des résidus de traitement de minerais d'uranium**

Pour ce qui concerne l'évolution des caractéristiques physico-chimiques à long terme des résidus de traitement des minerais, l'étude remise par Areva dans le cadre du PNGMDR 2007-2009,

---

<sup>121</sup> Stériles provenant des anciens sites miniers de Bellezane, Pény et Margnac.

indique que les résidus évoluent naturellement vers une forme minéralogique et chimique qui limite fortement la mobilité de l'uranium et du radium. Les études demandées dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 remises le 21 novembre 2014 visaient à consolider la méthodologie utilisée, en complétant les éléments déjà transmis, en y intégrant les sites de stockage de résidus de traitement statique<sup>122</sup>, afin de confirmer la possibilité de les extrapoler aux sites de stockage non étudiés. Dans ce rapport, Areva a sélectionné quatre sites<sup>123</sup> pour appréhender les différents contextes géologiques et hydrogéologiques et les différentes natures du traitement du minerai d'uranium présents dans les stockages. Areva étudie les résultats des caractérisations des phases minérales des résidus et la composition chimique et radiologique des eaux. Areva observe les mêmes familles de minéraux sur l'ensemble des sites ce qui vient confirmer les résultats des études précédentes. Areva note que l'uranium est retenu par sorption sur les minéraux argileux et les hydroxydes de fer alors que le radium est retenu par incorporation dans la barytine. Concernant leur mobilité, Areva précise qu'elle dépendra pour l'uranium de ses interactions avec les minéraux phosphatés présents dans les résidus et pour le radium 226, de la présence de barytine. Ces études seront poursuivies dans le cadre du PNGMDR 2016-2018, notamment par la prise en compte de ces mécanismes réactionnels dans les modélisations de l'évolution du terme-source résidus des sites de stockages et de l'évolution de ces sites en conditions normales et altérées.

**R8 – Areva devra poursuivre et compléter les travaux de modélisation du transfert à long terme d'uranium et de radium dans le cas des sites de stockage de résidus retenus dans son étude. Areva devra notamment prélever des échantillons de résidus à des profondeurs représentatives des conditions hydrogéochimiques prévalant au sein des stockages, caractériser les eaux interstitielles associées et justifier la cohérence entre les modèles conceptuels de mobilité de l'uranium et du radium retenus, les caractéristiques des eaux interstitielles ainsi obtenues et, d'autre part, les marquages environnementaux observés. Cette étude est attendue pour le 31 décembre 2017.**

**R9 – Areva devra ensuite vérifier et le cas échéant compléter son étude pour assurer la représentativité de son modèle pour l'ensemble des sites de stockages de résidus miniers uranifères. Cette étude est attendue pour le 31 décembre 2019.**

L'ASN considère dans son avis du 9 février 2016<sup>124</sup> qu'il sera nécessaire d'étendre la démarche aux autres sites.

### 3.2.10 La gestion de l'impact dosimétrique à long terme

Un dispositif de surveillance a été établi à partir de l'analyse de l'ensemble des voies de transfert et d'exposition et de l'identification des groupes de population susceptibles d'être les plus exposés. L'évaluation de l'impact radiologique se heurte à une difficulté pratique d'évaluation de la dose ajoutée reçue par un membre du public, compte tenu notamment de la radioactivité naturelle déjà présente localement et de l'absence de réalisation de point zéro à l'ouverture des mines.

<sup>122</sup> Sites de la Ribière et du Cellier.

<sup>123</sup> Lavaugrasse, Bellezane, La Ribière et Le Cellier.

<sup>124</sup> L'avis n° 2016-AV-0254 de l'ASN du 9 février 2016 sur l'évaluation de l'impact des résidus miniers d'uranium et à la gestion des anciens sites miniers d'uranium est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

De manière générale, les études engagées par Areva sont récentes et mettent à profit les mesures et observations réalisées dans le cadre de la surveillance de ses sites. Il est néanmoins nécessaire d'acquérir des données de mesure sur un laps de temps suffisant et sur un nombre de sites représentatifs. Les travaux de recherche sur le long terme s'échelonnent donc jusqu'en 2020, des points d'étapes étant réalisés tous les trois ans à l'occasion des mises à jour du PNGMDR.

La méthodologie de modélisation développée par Areva en application de la doctrine publiée par le ministère de l'environnement en 1998 pour évaluer les impacts dosimétriques à long terme des stockages de résidus comporte un scénario d'évolution normale et quatre scénarios d'évolution altérée à savoir : perte d'intégrité de la digue et de la couverture, réalisation d'un habitat au-dessus du stockage en présence ou en l'absence de couverture, construction d'une route, présence d'enfants jouant sur les résidus excavés. Cette méthodologie de modélisation a été appliquée par Areva à neuf sites de stockage de résidus de traitement de minerais de taille et de contexte géologique différents. D'après les résultats des études d'Areva remises dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, les impacts dosimétriques sur la population en situation d'évolution normale restent inférieurs à 1 mSv/an en phase de surveillance active et ceux envisageables pour des hypothèses de dégradation importante des stockages restent inférieurs à quelques dizaines de millisieverts par an.

Areva a complété cette démarche dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 par une comparaison entre les données issues de cette méthodologie et les résultats de la surveillance environnementale afin dans un premier temps de renforcer la confiance dans ses résultats de calcul et dans un second temps d'améliorer la pertinence et l'utilité de son dispositif de suivi des sites. Dans le rapport en date du 2 février 2015<sup>125</sup>, Areva a présenté la comparaison entre les résultats des études de 2009 et le flux d'exhalation radon mesuré sur le terrain pour 6 sites de stockages<sup>126</sup> et en a conclu que les flux moyens mesurés sont significativement inférieurs aux flux des termes sources théoriques calculés qui sont donc majorants. Areva a présenté également la comparaison entre les résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique en radon et les mesures effectuées au niveau des stations de mesures de l'environnement autour des sites<sup>127</sup>. Areva en a conclu que l'influence des sites est faible (environ 1 à 7 % du bruit de fond, sauf pour un site pour lequel cette part monte à 12 %) et que les différentes contributions mesurées aux points de surveillance traduisent essentiellement la variabilité du bruit de fond naturel. Areva a précisé ainsi que l'analyse et l'interprétation des données ne permettent pas de mettre en évidence un impact significatif du site de stockage de résidus.

Areva considère que ces résultats confirment les conclusions sur une origine naturelle des différentes contributions à la dose totale de ses études de janvier 2012 et que les couvertures des sites sont donc suffisamment efficaces. Ainsi, le renforcement de la qualité des couvertures, qui, à la lumière des résultats des évaluations d'impact à long terme<sup>128</sup>, apparaît sur plusieurs sites comme une solution potentiellement efficace, n'a pas fait l'objet d'étude complémentaire d'Areva

---

<sup>125</sup> Le rapport remis par Areva est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

<sup>126</sup> Brugeaud et Lavaugrasse (Haute-Vienne).

<sup>127</sup> Gueugnon (Saône et Loire), Lodève (Hérault), Ecarpière (Loire Atlantique), Bellezane (Haute Vienne), Brugeaud et Lavaugrasse (Haute-Vienne).

<sup>128</sup> Études menées dans le cadre du PNGMDR 2007-2009.

pour évaluer la faisabilité et la pertinence de ce renforcement éventuel sur l'ensemble des sites de stockage de résidus de traitement des minerais.

Cette étude apporte donc de nouveaux éléments concernant la méthodologie de modélisation de l'impact des stockages de résidus miniers mais ne permet pas de conclure sur le besoin de dimensionnement des couvertures de chacun des stockages de résidus miniers.

**R10 – L'évaluation de l'impact des stockages de résidus miniers complétée par le dimensionnement de la couverture de chacun des stockages de résidus miniers doivent faire l'objet d'une analyse dans le cadre des travaux menés par la DGPR pour définir une doctrine de gestion à long terme des stockages de résidus miniers issus du minerai d'uranium.**

### **3.2.11 La tenue à long terme des digues de rétention des sites de stockage de résidus de traitement minier**

Dans les études rendues en janvier 2012 par Areva dans le cadre de la mise en œuvre du PNGMDR 2010-2012, Areva précise notamment que par construction les ouvrages présentent une bonne stabilité à long terme liée à leurs pentes réduites, à l'absence de lame d'eau<sup>129</sup>, à l'essorage progressif des résidus et à leur consolidation induite. Areva tient explicitement compte de l'impact de l'arrêt de l'entretien des sites sur le colmatage des réseaux de drainage et sur l'évolution des conditions hydrauliques dans le corps des digues. Les situations défavorables susceptibles de résulter de ce scénario sont étudiées dans l'évaluation générique au travers du régime hydraulique critique. Areva a également renforcé de manière significative le niveau d'aléa sismique à retenir afin de tenir compte de la durée de vie des stockages de résidus. Areva fixe à 1 000 ans la durée de vie de l'installation de stockage à prendre en compte pour les études de stabilité à long terme, et à 30 000 ans la période de retour visée pour un aléa sismique<sup>130</sup>. Areva a aussi rehaussé de 1 à 1,2 le facteur de sécurité retenu pour juger de la tenue des digues dans le cas de sollicitations extrêmes.

Par ailleurs, un groupe de travail pluraliste créé dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 a élaboré méthodologie d'évaluation de la tenue à long terme des digues ceinturant les stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium en s'appuyant notamment sur ces études. La vérification de la stabilité de la digue sur le long terme, repose, pour le groupe de travail, sur l'analyse du maintien des performances minimales nécessaires au maintien de ses fonctions (contenir les produits et limiter les transferts à l'extérieur) en dépit des agressions (aléa sismique, régimes hydrauliques extrêmes) auxquelles il est susceptible d'être soumis. Le groupe de travail propose une démarche à suivre et des méthodes d'évaluation de la tenue à long terme des digues de stockages de résidus. Néanmoins, les ouvrages peuvent être soumis à d'autres aléas : l'érosion, l'évolution des matériaux (physique, chimique, biologique des différents éléments constitutifs de l'ouvrage et des résidus) ou le relais d'aléas, que les connaissances actuelles ne permettent pas

---

<sup>129</sup>Seul le site des Bois Noirs Limouzats présente une lame d'eau et un projet de remplacement par une couverture solide est en cours d'étude par Areva.

<sup>130</sup>Les mouvements sismiques dérivés des méthodes applicables aux installations dites à risque spécial sont affectés d'une majoration. La réglementation pour le dimensionnement des installations classées pour la protection de l'environnement fixe à 3 000 ans pour l'aléa retenu. AREVA précise que la majoration retenue pour ses installations de stockage revient à considérer un aléa sismique de période de retour de 30 000 ans.

d'évaluer. Ces aléas doivent néanmoins être pris en considération si des éventuels travaux de confortement devaient être mis en œuvre.

Areva a remis au PNGMDR dans son rapport du 1<sup>er</sup> avril 2014<sup>131</sup> un plan d'action et une méthodologie pour constituer les dossiers géotechniques ainsi qu'une sélection de digues représentatives ou prioritaires sur lesquelles sera réalisée l'évaluation de stabilité. La méthodologie devra être complétée au regard des éléments apportés par le groupe de travail « Stabilité des digues ceinturant les stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium ».

**R11 – Areva devra poursuivre la constitution des dossiers géotechniques et appliquer la méthodologie définie par le groupe de travail sur la stabilité mécanique des digues sur tout ou partie de ses sites. À l'issue de cette étape, Areva analysera les résultats de cette évaluation et devra rendre ses conclusions en termes de robustesse des ouvrages pour les durées de vie visées et formulera des propositions en termes de suivi et d'entretien des ouvrages ou de renforcement. Ces conclusions devront s'appuyer, d'une part, sur les résultats de l'étude de la tenue sur le long terme de ces ouvrages et, d'autre part, sur l'évaluation des conséquences éventuelles d'une rupture de ceux-ci. Ces études sont attendues pour le 31 décembre 2018.**

**R12 – Le groupe de travail sera consulté par Areva sur la mise en œuvre de cette méthode sur quelques cas et rendra ses conclusions avant le 31 décembre 2017.**

### 3.2.12 La gestion des stériles miniers

Si, depuis 1984, la cession des stériles en dehors du périmètre des anciens sites miniers a été tracée pour les sites exploités par la Cogema et parfois réalisée dans le cadre d'arrêtés préfectoraux délivrés à des carriers, l'état des connaissances des cessions antérieures à 1984 reste incomplet.

L'absence de traçabilité par le passé de cession des stériles nécessite de réaliser un recensement précis des stériles miniers réutilisés dans le domaine public, afin d'en vérifier la compatibilité des usages et d'en réduire les impacts si nécessaire. Cet enjeu fait l'objet d'une demande forte des pouvoirs publics qui est détaillée dans la circulaire de l'ASN et du ministère chargé de l'environnement du 22 juillet 2009.

Les évaluations d'exposition radiologique génériques effectuées par Areva relatives aux cas les plus fréquemment observés de réutilisation des stériles (cour de ferme, chemin ...), conduisent à des doses ajoutées ne dépassant pas en première approche la limite de 1 mSv/an<sup>132</sup> pour les scénarios et les hypothèses de teneur en uranium retenues et compte tenu de l'usage actuel des

<sup>131</sup> Le rapport remis par Areva est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

<sup>132</sup> Valeur réglementaire figurant dans le code de la santé publique pour juger de la compatibilité des usages constatés au regard des contaminations observées. Il est à noter qu'elle correspond également à l'ordre de grandeur de l'exposition d'origine naturelle, hors radon, qui résulte principalement de l'exposition au rayonnement d'origine tellurique et cosmique.

sites. Ces résultats ne tiennent toutefois pas compte de l'exposition au radon pour les constructions érigées sur des terrains remblayés par des stériles.

Pour encadrer cette opération, une instruction spécifique a été signée le 8 août 2013 par la DGPR. Elle précise notamment les conditions d'information du public concernant les résultats du recensement, définit la méthodologie de réalisation des travaux et précise les modalités de conservation de la mémoire.

Areva a remis un bilan de cette opération dans son rapport du 17 décembre 2014<sup>133</sup>. Le recensement a été réalisé, par contrôles hélicoptérés autour des anciens sites ayant produit 95 % des tonnes de stériles (seules les communes concernées par une exploitation ont été survolées). Pour les 17 blocs survolés (2 900 km<sup>2</sup>), l'ensemble des cartes de recensement ont été transmises entre 2011 et septembre 2013, tandis que les cartes de recensement des zones non survolées ont été transmises en mars 2014. Toutes les cartes sont à ce jour publiées sur internet par les pouvoirs publics. Toutes les anomalies relevées font l'objet d'un contrôle au sol avec, en cas de présence avérée de stériles, une évaluation de dose ajoutée calculée sur la base de scénarios génériques choisis en fonction de l'usage actuel du site.

Dans la mesure où les contrôles hélicoptérés ne sont pas complètement exhaustifs, une consultation de l'ensemble des parties prenantes a été organisée au niveau local, notamment par l'intermédiaire de registres dans les mairies concernées dans le courant de l'année 2014. Cette consultation doit permettre de compléter le recensement réalisé par Areva. Il importe que les actions menées se fassent en toute transparence et en associant au maximum les acteurs locaux. En effet, ceux-ci sont les premiers concernés et ont la mémoire des utilisations des stériles dans leur environnement. Ainsi, il est nécessaire de poursuivre la démarche d'information et de concertation et Areva devra justifier la prise en compte ou non des commentaires formulés par les acteurs locaux sur les cartes de recensement.

Pour les zones présentant le plus d'enjeux (dose ajoutée supérieure à 0,6 mSv par an), Areva a transmis les dossiers de travaux pour traiter la situation. Les travaux seront réalisés en 2015 et 2016.

Enfin, afin de tenir compte de la découverte dans le Limousin de concentrations en radon très importantes dans une maison construite sur des résidus miniers, un plan d'action complémentaire a été demandé à Areva par courrier du ministre chargé de l'environnement en date du 7 mai 2014. En effet, le retour d'expérience montre que l'impact sanitaire prépondérant des réutilisations de stériles uranifères est causé par le radon lorsque les stériles se retrouvent en soubassement de lieux clos (habitations, entreprises...) et dans des proportions plus fortes encore lorsqu'il s'agit de résidus de traitement. Il est cependant à noter que si la réutilisation de stériles en dehors des sites miniers n'était pas interdite à l'époque de l'exploitation des mines d'uranium, la présence de résidus de traitement de minerai en dehors des sites miniers et des zones de stockage dédiées doit faire l'objet d'opérations de gestion afin de transférer ces matériaux sur des sites autorisés à les recevoir.

---

<sup>133</sup> Le rapport remis par Areva est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

Ce plan d'actions complétant l'instruction du 8 août 2013, consiste à diagnostiquer de manière systématique le radon dans les lieux de vie où des stériles se trouvent à proximité. Le diagnostic « radon » de près de 600 lieux de vie, situés à proximité de stériles miniers, a été initié fin 2014. Les résultats seront connus courant 2015 et début 2016. Les travaux nécessaires se dérouleront à compter de 2016.

#### **Recensement des stériles**

**R13 – Areva présentera régulièrement un point d'avancement de la campagne aux membres du groupe de travail du PNGMDR et remettra un bilan des actions menées dans le cadre de ce recensement en précisant notamment :**

**la manière dont ont été prises en compte les remarques collectées dans le cadre des démarches de concertation avec le public et les parties prenantes,  
une synthèse du traitement des différents cas de présence de stériles miniers uranifères,  
les exutoires qui recevront ou ayant reçus les stériles miniers uranifères,  
la mise en œuvre du plan d'action défini dans l'instruction complémentaire du 4 avril 2014.**

**Ce bilan est attendu avant le 31 décembre 2017.**

**Areva devra finaliser les actions de traitement des stériles miniers avant le 31 décembre 2019.**

**I3 – Taux d'avancement des actions de traitement des stériles miniers (nombre de « sites » traités sur le nombre de sites identifiés comme à traiter).**

### 3.3 La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée (NORM)

Les déchets à radioactivité naturelle élevée<sup>134</sup> sont des déchets générés par l'utilisation ou la transformation de matières premières naturellement riches en radionucléides naturels (NORM) mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Il s'agit de déchets de type faible activité à vie longue, voire de très faible activité.

En fonction de leurs caractéristiques radiologiques, les déchets à radioactivité naturelle élevée font soit l'objet d'une gestion *in situ*, soit ils sont valorisés, soit ils sont évacués dans des centres de stockage de déchets conventionnels (quatre installations sont autorisées à en recevoir) ou dans les centres de stockage de l'Andra dédiés à la gestion des déchets radioactifs.

La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée va être profondément modifiée par la transposition des dispositions de la directive 2013/59/Euratom du conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants, qui est prévue au plus tard le 6 février 2018.

#### 3.3.1 Contexte en enjeux

Les déchets à radioactivité naturelle élevée sont des déchets générés par l'utilisation ou la transformation de matières premières naturellement riches en radionucléides naturels (NORM) mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Leur radioactivité est due à la présence de radionucléides naturels, tels que du potassium 40, des radionucléides de la famille de l'uranium 238, de l'uranium 235 ou du thorium 232. Ces radionucléides peuvent se retrouver concentrés dans les déchets par les procédés de transformation. Les multiples secteurs d'activité générateurs de ce type de déchets et le nombre d'établissements concernés expliquent les incertitudes encore attachées aux évaluations des quantités de déchets produits et à l'activité radiologique de certains d'entre eux.

Les déchets à radioactivité naturelle élevée font l'objet, depuis l'arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives, de modalités de gestion spécifiques telles que présentées dans le paragraphe suivant (la gestion historique de ces déchets est présentée dans le chapitre 3.1). Cet arrêté dresse une liste des activités susceptibles de générer ce type de déchets. Ces déchets relèvent de la catégorie :

- des déchets de très faible activité (par exemple : déchets de sables de fonderie, déchets de réfractaires à base de zirconium utilisé notamment dans l'industrie verrière...);
- des déchets de type faible activité à vie longue (par exemple : certains déchets issus du traitement de la monazite, de la fabrication d'éponges de zirconium ou du démantèlement d'installations industrielles correspondant par exemple à des installations de production d'acide phosphorique, de traitement de dioxyde de titane ou de traitement de la farine de zircon).

---

<sup>134</sup> Anciennement dénommés déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR).

### 3.3.2 La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée

En fonction de leurs caractéristiques radiologiques, les déchets à radioactivité naturelle élevée font soit l'objet d'une gestion *in situ*, soit ils sont valorisés, soit ils sont évacués dans des centres de stockage de déchets conventionnels (quatre installations sont autorisées à en recevoir) ou dans les centres de stockage de l'Andra dédiés à la gestion des déchets radioactifs.

#### 3.3.2.1 La valorisation des déchets à radioactivité naturelle élevée

Certains déchets à radioactivité naturelle élevée peuvent être valorisés en raison de leurs propriétés physico-chimiques, notamment pour être utilisés dans la fabrication de produits de construction. C'est le cas notamment des cendres de combustion de charbon en centrales thermiques qui ont des propriétés liantes intéressantes pour certains ciments.

Une étude concernant la radioactivité ajoutée par la présence de cendres a été réalisée par l'association technique de l'industrie des liants hydrauliques en juillet 2010. D'après cette estimation, l'ajout de cendres induit une faible augmentation de l'activité radiologique comparée à la radioactivité naturelle déjà présente dans les constituants du béton (sable, graviers, calcaire, basalte, granite). Celle-ci est très variable et est fortement influencée par l'origine des constituants du béton.

#### 3.3.2.2 Le stockage des déchets à radioactivité naturelle élevée dans des installations de stockage de déchets « conventionnels »

La réglementation prévoit la possibilité de stocker des déchets à radioactivité naturelle élevée dans des installations de stockage de déchets dangereux (ISDD), non dangereux (ISDnD) ou inertes (ISDI).

L'arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives et la circulaire du 25 juillet 2006 relative aux conditions d'acceptation des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée dans les centres de stockage de déchets offrent un cadre strict pour la gestion de ces déchets.

La circulaire du 25 juillet 2006 n'est pas opposable de plein droit aux exploitants concernés mais invite les préfets à renforcer les prescriptions d'exploitation des installations recevant ou souhaitant recevoir ce type de déchets. Pour cela, elle précise qu'une étude spécifique, complémentaire à l'étude d'impact initiale, doit être transmise au préfet. Cette étude vise à justifier que le stockage des déchets à radioactivité naturelle élevée ne remet pas en cause la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement, en particulier du point de vue de la radioprotection tant pour le personnel d'exploitation que pour la population voisine, y compris sur le long terme. Elle doit être réalisée en référence au guide technique publié en 2006<sup>135</sup> par le ministère chargé de l'environnement et l'IRSN.

Cette circulaire précise également les modalités de réception et de contrôle des déchets dans les installations de stockage de déchets qu'il conviendrait de prescrire à l'exploitant, les conditions de

---

<sup>135</sup> Ce guide est consultable sur le site de l'IRSN : <http://www.irsn.fr>, Accueil > Nos avis et rapports d'expertise > Rapports d'expertise > Surveillance de l'environnement.

surveillance de l'impact radiologique de l'admission de ces déchets sur l'environnement et les modalités d'information de l'inspection des installations classées au travers du bilan annuel d'exploitation. Ce bilan est présenté devant les commissions de suivi de site (CSS, ex CLIS) des installations de stockage et, le cas échéant, à la commission départementale pour l'environnement, les risques sanitaires et technologiques (CODERST).

Enfin, cette circulaire rappelle aussi qu'en application du principe pollueur-payeur, tout producteur de déchets est tenu de justifier, au plan technique, la validité de la filière de gestion de ses déchets. C'est en application de ce principe qu'elle demande la réalisation d'une étude pour chaque lot de déchets à gérer afin de justifier de son acceptabilité dans les installations destinataires.

Fin 2011, un bilan des installations recevant ces déchets a été réalisé par le ministère chargé de l'environnement sur la base des déclarations des Directions régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL). Seules deux installations de stockage avaient été identifiées comme autorisées à recevoir ces déchets, il s'agit des installations de stockage de déchets dangereux de :

- Villeparisis en Île-de-France, autorisée jusqu'au 31 décembre 2020, pour une capacité annuelle de 250 000 t/an ;
- Bellegarde en Languedoc-Roussillon, autorisée jusqu'au 4 février 2029, pour une capacité annuelle de 250 000 t/an jusqu'en 2018 et 105 000 t/an au-delà.

Deux autres installations non identifiées dans le premier bilan réalisé, sont également autorisées à en recevoir, en moindre quantité. Ces installations ont également réalisé les études leur permettant de recevoir des déchets à radioactivité naturelle élevée conformément à la circulaire du 25 juillet 2006. Il s'agit de :

- Champteussé-sur-Baconne en Pays de la Loire, autorisée jusqu'en 2049, pour une capacité annuelle de 55 000 t/an ;
- Argences en Basse-Normandie, autorisée jusqu'en 2023, pour une capacité annuelle de 30 000 t/an.

Le retour d'expérience de l'exploitation des installations de Bellegarde et de Villeparisis ne montre, jusqu'à présent, aucun marquage des eaux souterraines lié à la présence de ces déchets. L'encadrement de la prise en charge des déchets à radioactivité naturelle élevée sur ces centres a été renforcé par des arrêtés préfectoraux imposant des prescriptions particulières relatives :

- à la mise en place d'une procédure d'acceptation préalable étendue (identification des radionucléides d'origine naturelle, évaluation des doses cumulées sur un an) ;
- à la surveillance de la qualité radiologique (mesure des radionucléides d'origine naturelle et artificielle dans les eaux souterraines, lixiviats et boues issues des bassins de lixiviats) ;
- à la surveillance de la qualité de l'air (activité volumique des poussières dans l'air) ;
- au suivi de l'exposition du personnel (code du travail).

Les quantités de déchets à radioactivité naturelle élevée reçues sur ces installations sont largement inférieures aux capacités d'accueil (moins de 10 % de la capacité d'accueil). En effet, les installations de Villeparisis et de Bellegarde ont respectivement reçu 25 509 tonnes et 94 680 tonnes entre 2000 et 2010 (soit respectivement 10 % et 30 % de leurs capacités d'accueil annuelles) ; l'installation de Champteussé-sur-Baconne a reçu 1 808 tonnes entre 2002 et 2009 (soit 3 % de sa capacité annuelle d'accueil) ; l'installation d'Argences a reçu de l'ordre de 1 530 tonnes entre fin 2010 et 2011 (soit 5 % de sa capacité annuelle), ce qui tend à traduire l'absence

de risque de pénurie des capacités de stockage. Toutefois, une question se pose sur la part prise en charge par ces quatre installations autorisées. En effet, tous les industriels susceptibles de produire des déchets à radioactivité naturelle élevée ne sont pas clients de ces installations.

Les travaux menés par le ministère visent à mieux impliquer les producteurs de ce type de déchets : ceci s'est traduit par l'ordonnance du 17 décembre 2010 modifiant le code de l'environnement qui précise à l'article L. 541-2 les responsabilités des producteurs ou détenteurs de déchets et leur impose de caractériser les déchets (article L. 541-7 du code de l'environnement). La caractérisation vise à identifier les substances contenues dans les déchets et à en mesurer la concentration, y compris lorsque ces substances peuvent être à l'origine de rayonnements ionisants. Cette disposition devrait permettre d'améliorer la connaissance du gisement des déchets à radioactivité naturelle élevée et de renforcer la maîtrise des circuits de traitement.

En 2015, l'application de cette caractérisation de substances radioactives dans les déchets issus des industries utilisant des matières premières riches en radionucléides naturels n'est pas encore effective mais elle devrait le devenir avec la transposition de la directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 prévue au plus tard le 6 février 2018. En conséquence, la traçabilité de ces déchets n'est pas encore exhaustive.

#### **3.3.2.3 Le stockage des déchets à radioactivité naturelle élevée dans des installations de stockage de déchets radioactifs**

Les déchets à radioactivité naturelle élevée de très faible activité qui ne peuvent être acceptés dans les installations de stockage de déchets conventionnels sont stockés dans le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de Morvilliers. L'édition 2015 de l'Inventaire national recense 2 100 m<sup>3</sup> de déchets relevant de cette catégorie à la fin de l'année 2013, hors déchets générés par les établissements thermaux, les papeteries et la combustion de biomasse, qui ne sont actuellement pas recensés dans l'Inventaire national.

Les déchets à radioactivité naturelle élevée de faible activité à vie longue sont intégrés dans les schémas industriels de gestion des déchets de faible activité à vie longue étudiés par l'Andra (cf. chapitre 4.1). L'édition 2015 de l'Inventaire national recense 21 000 m<sup>3</sup> de déchets relevant de cette catégorie (hors déchets générés par les établissements thermaux, les papeteries et la combustion de biomasse). Dans l'attente d'un stockage, ces déchets sont entreposés sur certains sites de production.

### **3.3.3 Recommandations et perspectives**

La gestion des déchets à radioactivité naturelle élevée va être profondément modifiée par la transposition des dispositions de la directive 2013/59/Euratom du conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants. **Ces changements seront présentés au groupe de travail du PNGMDR.**

### *3.4. La gestion des déchets à vie très courte*

Les déchets à vie très courte, c'est-à-dire contenant seulement des radionucléides d'une période radioactive inférieure à 100 jours, sont produits par des services de médecine nucléaire et des laboratoires de recherches.

Ils peuvent être gérés par décroissance radioactive et sont ensuite orientés vers des filières de gestion conventionnelles.

Ce mode de gestion impose la mise en place d'installations d'entreposage adaptées.

Les déchets qualifiés de déchets à vie très courte (VTC) sont les déchets contenant des radioéléments dont la période radioactive est inférieure à 100 jours<sup>136</sup>. Ces déchets sont principalement issus des activités médicales ou des laboratoires de recherche (ex : iode 131 de période 8 jours, technétium 99 métastable de période 6 h). Il convient de noter que cette catégorie n'est pas définie pour les déchets produits dans les installations nucléaires de base (INB).

L'activité des déchets à vie très courte décroît sensiblement en quelques semaines, voire quelques mois. Leurs modes de gestion doivent donc être adaptés à cette caractéristique.

Cette gestion s'appuie notamment sur un tri, une caractérisation, un conditionnement adapté et un entreposage pour décroissance radioactive avant leur orientation vers des filières conventionnelles de gestion des déchets.

Pour les installations relevant du code de la santé publique, les modalités de gestion sont encadrées par la décision n°2008-DC-0095<sup>137</sup> de l'ASN du 29 janvier 2008 fixant les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire. Cette décision prévoit notamment la mise en place d'un plan de gestion des déchets contaminés comprenant les modalités de gestion à l'intérieur de l'établissement concerné, l'identification des lieux destinés à entreposer les déchets contaminés et les dispositions permettant d'assurer leur élimination dans les filières adaptées ainsi que les modalités de contrôles associés. Les déchets à vie très courte ne peuvent être dirigés vers une filière à déchets conventionnels qu'après un délai supérieur à dix fois la période du radionucléide (en cas de présence de plusieurs radionucléides, la période radioactive la plus longue est retenue).

Cette décision a fait l'objet du guide de l'ASN n° 18<sup>138</sup> relatif à l'élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides produits dans des installations déclarées ou autorisées au titre du code de la santé publique. Ce guide explicite les attendus et notamment les

---

<sup>136</sup> Ou lorsque les produits de filiation de ces radioéléments ne sont pas eux-mêmes des radioéléments de période supérieure à 100 jours mais dont le rapport de la période du nucléide père sur celle du nucléide descendant est inférieur au coefficient  $10^{-7}$ .

<sup>137</sup> La décision n° 2008-DC-0095 du 29 janvier 2008 est consultable sur le site de l'ASN à l'adresse suivante : [www.asn.fr](http://www.asn.fr), rubrique « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN ».

<sup>138</sup> Le guide n° 18 est disponible sur le site de l'ASN à l'adresse suivante : [www.asn.fr](http://www.asn.fr), rubrique « publication », « guide pour les professionnels ».

dispositions techniques à mettre en œuvre pour l'entreposage des déchets ainsi que les modalités spécifiques applicables aux services de médecine nucléaire.

Pour les installations classées pour la protection de l'environnement mettant en œuvre des substances radioactives, des dispositions analogues sont désormais fixées par arrêté du 23 juin 2015<sup>139</sup>.

Ces modalités de gestion par décroissance radioactive ne sont toutefois pas appropriées pour l'ensemble des déchets à vie très courte. En effet, certains déchets présentent d'autres risques (déchets contenant des produits infectieux, cancérigènes...) qui ne permettent pas leur entreposage dans des conditions de sûreté satisfaisantes. Ces déchets sont généralement incinérés dans les meilleurs délais pour limiter les risques de contamination biologique. **Les modalités de gestion des déchets à vie très courte doivent ainsi tenir compte de l'ensemble des caractéristiques des déchets pour déterminer le mode de gestion le plus approprié.**

---

<sup>139</sup> Arrêté du 23 juin 2015 relatif aux installations mettant en œuvre des substances radioactives, déchets radioactifs ou résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium soumises à autorisation au titre de la rubrique 1716, de la rubrique 1735 et de la rubrique 2797 de la nomenclature des installations classées.

### 3.5 La gestion des déchets TFA

En France, l'identification des déchets issus des installations nucléaires qui ne justifient pas un contrôle de radioprotection (les déchets « conventionnels ») repose sur plusieurs lignes de défense indépendantes et successives et notamment sur l'origine de la production des déchets au sein de l'installation. Cela conduit notamment, contrairement à d'autres pays européens, à l'absence de seuils de libération. Ainsi, tous les déchets contaminés, activés ou susceptibles de l'être sont considérés comme des déchets radioactifs, et doivent faire l'objet d'une gestion spécifique dans une filière dédiée aux déchets radioactifs. Cela participe à la production importante de déchets dits de très faible activité (TFA), notamment au cours des opérations de démantèlement. L'Andra prévoit ainsi la production de 2 200 000 m<sup>3</sup> de déchets TFA par les installations actuelles jusqu'à leur déclassement.

Une installation de stockage, implantée sur le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) exploité par l'Andra, permet d'accueillir ce type de déchets depuis 2003. À la fin de l'année 2014, le volume total stocké au Cires était d'environ 280 000 m<sup>3</sup>, soit 43 % de la capacité réglementaire autorisée (650 000 m<sup>3</sup>).

Afin de préserver la ressource rare que constitue le stockage, des pistes visant à réduire les flux des déchets radioactifs ultimes, telles que la densification ou la valorisation de certains déchets, ont été étudiées et les efforts réalisés devront se poursuivre. Toutefois, la capacité du centre devrait être atteinte en 20 ou 25 ans, au lieu des 30 ans initialement prévus, et nécessiter la mise en place d'une nouvelle installation de stockage ou l'extension de la capacité autorisée du centre actuel d'ici 2025.

**Le PNGMDR 2016-2018 demande que l'Andra, Areva, le CEA et EDF poursuivent leurs efforts pour réduire par la densification et la valorisation la production de déchets radioactifs ultimes TFA. Une consolidation des prévisions de production de ces déchets, notamment ceux issus de l'assainissement des structures et des sols des installations, est également demandée et constitue une étape indispensable pour éclairer les futurs choix d'optimisation globale de la filière.**

**Le PNGMDR demande également à l'Andra d'étudier la possibilité et les conditions d'augmentation de la capacité volumique du Cires pour une même emprise au sol et, sous réserve que ces conditions soient favorables, de déposer une telle demande d'augmentation au moins 6 ans avant la saturation prévue de cette installation.**

#### 3.5.1 Contexte et enjeux

Les déchets dits de très faible activité (TFA) proviennent essentiellement du démantèlement des installations nucléaires. Ils présentent une activité massique généralement inférieure à 100 Bq/g, cette activité pouvant même être inférieure au seuil de détection de certains appareils de mesures. Les déchets TFA sont notamment constitués de déchets inertes (gravats, terres, sable) et de déchets métalliques. La quantité de déchets TFA produite fin 2014 était d'environ 450 000 m<sup>3</sup>, dont 280 000 m<sup>3</sup> de stockés<sup>140</sup>.

<sup>140</sup> Les déchets produits non stockés sont dans leur grande majorité en attente d'évacuation dans des entreposages « tampons » sur les sites des producteurs.

La majorité des pays, notamment européens, a mis en œuvre une politique de libération de ces déchets sur la base de seuils massiques d'activité par radionucléide en deçà desquels les déchets sont dispensés de toute contrainte de radioprotection et peuvent être gérés dans des filières prévues pour des déchets non radioactifs. La possibilité de mettre en place de tels seuils a été confirmée par la directive Euratom 2013/59 du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultants de l'exposition aux rayonnements ionisants.

En France, la réglementation ne prévoit pas, sauf dérogation, de possibilité de libération des déchets TFA. Pour le cas des installations nucléaires de base (INB), cela se traduit par la demande réglementaire (arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB et décision de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015<sup>141</sup>) d'établissement d'un « zonage déchets » permettant d'identifier les zones dans lesquelles les déchets produits sont contaminés ou activés, ou susceptibles de l'être (dites « zones à production possible de déchets nucléaires » - ZppDN). Les déchets produits dans ces zones doivent être gérés comme s'ils étaient radioactifs<sup>142</sup> et font l'objet d'une gestion spécifique et renforcée. Ils doivent ainsi être pris en charge dans des filières autorisées à gérer des déchets radioactifs. Ce principe de gestion participe à augmenter la production de déchets dits de très faible activité. Pour autant, ce principe renforce la robustesse du contrôle des déchets radioactifs, permet la traçabilité de ces déchets et présente, par ailleurs, une simplicité de mise en œuvre sur le terrain, ce qui a permis son appropriation par l'ensemble de la chaîne d'intervention.

Certaines catégories de déchets, notamment des déchets liquides et certains déchets solides sont incinérées mais la majorité des déchets TFA constituent aujourd'hui des déchets radioactifs ultimes orientés vers une installation de stockage dédiée, le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) à Morvilliers. Cette installation de stockage des déchets TFA, exploitée par l'Andra dans l'Aube, est en service depuis l'été 2003. Avec une capacité de stockage de 650 000 m<sup>3</sup> de déchets, elle correspondait initialement au besoin identifié pour une trentaine d'années. Les estimations de production de déchets font apparaître des besoins plus importants que ceux sur lesquels s'était fondé l'inventaire initial des déchets relevant de ce stockage. De nouvelles capacités de stockage seront nécessaires.

L'optimisation de la gestion des déchets TFA doit être recherchée afin de respecter les principes généraux de gestion des déchets définis aux chapitres I et II du titre IV du livre V du code de l'environnement qui s'appuie sur une hiérarchisation des modes de gestion des déchets, privilégiant la prévention et la réduction à la source du volume et de la nocivité des déchets, puis la réutilisation, le recyclage, la valorisation, et enfin dans un dernier temps l'élimination. Des options alternatives au stockage de déchets au Cires sont par conséquent notamment analysées ci-après.

---

<sup>141</sup> Décision n° 2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base.

<sup>142</sup> Par dérogation à cette disposition, des déchets produits en zones à production possible de déchets nucléaires peuvent être gérés comme des déchets non radioactifs s'il est démontré qu'ils n'ont pu, en aucune façon et à aucun moment, être contaminés ou activés.

### 3.5.2 Inventaire des déchets TFA

Selon les données de l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs publié par l'Andra en 2015, la quantité de déchets TFA produite à fin 2013 était d'environ 440 000 m<sup>3</sup>. Les évaluations prospectives de production réalisées par les exploitants conduisent à estimer les productions cumulées de déchets TFA à environ 650 000 m<sup>3</sup> en 2020, 1 100 000 m<sup>3</sup> en 2030 et 2 200 000 m<sup>3</sup> à terminaison des installations.

Le volume prévisionnel de déchets TFA issus du fonctionnement puis du démantèlement des installations nucléaires existantes constitue un paramètre essentiel pour identifier les besoins futurs en installations de gestion des déchets TFA, et tout particulièrement les capacités associées.

Or, les estimations susmentionnées présentent encore des incertitudes liées aux opérations d'assainissement des structures et de gestion des sols pollués par des substances radioactives ou chimiques qui se dérouleront à la fin des opérations de démantèlement. Ces incertitudes sont notamment liées, d'une part, à la connaissance insuffisante de l'état initial et, d'autre part, à la difficulté de caractériser les éventuelles pollutions présentes sous des bâtiments en fonctionnement. À cet égard, l'ASN a exprimé dans son guide n° 6 relatif à la mise à l'arrêt définitif et au démantèlement des INB, dans sa version du 17 juillet 2015, sa doctrine concernant l'état à atteindre en fin de démantèlement afin d'autoriser le déclassement de l'INB, le cas échéant, après mise en œuvre de servitudes d'utilités publiques.

**R1 – Les estimations prévisionnelles de la production de déchets TFA qui seront réalisées dans le cadre des prochaines éditions de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs devront s'appuyer sur l'hypothèse d'un assainissement des installations permettant leur déclassement. Les déchets liés à l'assainissement des sols devront être clairement identifiés à compter de l'édition 2021 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs.**

**R2 – Areva, le CEA et EDF devront remettre, pour le 30 juin 2018, une étude présentant :**

- **d'une part, la méthodologie et les incertitudes associées aux estimations prévisionnelles de la production de déchets TFA. Ces incertitudes devront être justifiées et les exploitants devront mettre en œuvre des dispositions pour les réduire ;**
- **d'autre part, des études de cas de démantèlement pour chaque exploitant évaluant les volumes de déchets TFA produits selon plusieurs scénarios d'assainissement. Le niveau d'incertitude associé à ces études de cas sera évalué.**

### 3.5.3 Limitation de la production des déchets

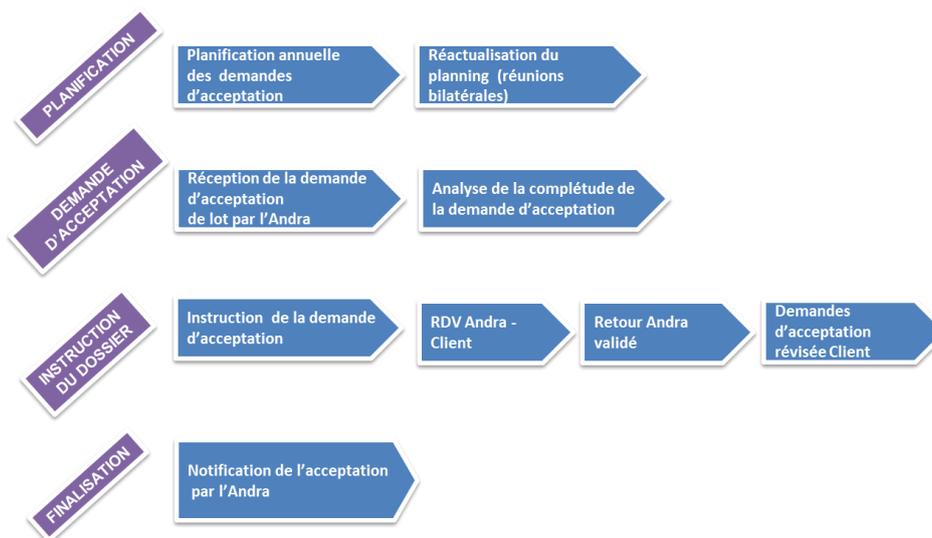
Le chapitre 1.2 de la partie 1 du présent PNGMDR détaille les principes de gestion des déchets radioactifs et notamment le principe de limitation à la source de la production de déchets radioactifs. Ce principe est tout particulièrement important dans le cadre de la gestion des déchets TFA. En effet, la conception et l'organisation mise en place pour exploiter les installations nucléaires aura un impact fort sur la production de déchets TFA au cours du démantèlement, notamment du fait de la contamination des sols et des structures.

**R3 – Areva, le CEA et EDF établiront pour fin 2020 un retour d'expérience de la mise en œuvre du zonage déchets dans leurs installations afin d'identifier les bonnes pratiques, en termes de conception, de construction et d'exploitation permettant d'optimiser le zonage déchets des installations et de faciliter le déclassement des ZppDN en démantèlement.**

### 3.5.4 Modalités de gestion par les producteurs

La filière TFA est opérationnelle depuis mi-2003. Areva, le CEA, et EDF, en collaboration avec l'Andra, ont développé des moyens visant à optimiser la filière tant par la densification des colis livrés que par la densité de stockage (emprise au sol). Le processus lié à l'acceptation des déchets a été entièrement revu en 2014 afin de fluidifier les échanges et faciliter l'instruction des dossiers d'acceptation de déchets TFA au Cires. Ce processus d'acceptation est résumé dans le synoptique ci-dessous.

## Synoptique processus d'acceptation TFA



Les déchets TFA sont conditionnés en colis fins expédiables au Cires, selon les exigences définies dans les spécifications d'acceptation de l'Andra. Ces spécifications d'acceptation sont révisées selon un calendrier défini entre l'Andra et les exploitants nucléaires. Ces révisions prennent en compte les évolutions réglementaires, intègrent le retour d'expérience lié à l'exploitation du Cires ainsi que des propositions d'optimisation des exploitants nucléaires.

Le conditionnement des déchets peut se faire sur les lieux de leur production ou dans des installations dédiées incluant des traitements (réduction de volume, stabilisation au besoin, décontamination, etc.). La caractérisation radiologique de ces déchets est faite : sur pied avant dépose ou au moment de la constitution des colis (directement sur les déchets ou matériels avant conditionnement final) ou encore sur le colis fini. Chaque mode de caractérisation (contrôles surfaciques, mesures de débit de dose, spectrométrie...) est adapté aux radioéléments présents et à la typologie du déchet.

Des outils informatiques ont été développés par chaque exploitant et permettent de garantir la traçabilité des déchets de leur origine jusqu'à leur prise en charge au Cires. Un travail visant à mutualiser ces outils a été initié en 2015. Ce travail entre le CEA, EDF, Areva et l'Andra s'étalera sur plusieurs années et a pour objectif de recenser les différents outils utilisés, d'identifier les exigences et contraintes de chacun et de définir les besoins et moyens qu'il serait possible de développer (création de passerelles entre les outils, etc.).

**R4 – Les producteurs de déchets TFA doivent prendre toute disposition pour procéder à l'évacuation de leurs déchets vers les installations autorisées à les gérer, et en premier lieu le Cires, en tenant compte des éventuelles contraintes de radioprotection, de transport et d'exploitation des stockages, ainsi que des conditions technico-économiques.**

**I1 – Indicateurs – Suivi par exploitant du volume annuel de déchets TFA évacués des sites de production par rapport au volume de déchets TFA produits.**

**I2 – Suivi par exploitant des quantités de déchets TFA (hors déchets TFA historiques) entreposés sur leur site de production depuis plus de 24 mois.**

### 3.5.5 La valorisation

Dans le cadre de la transition vers une économie visant notamment à préserver l'utilisation des ressources et améliorer l'efficacité de leur utilisation, le recyclage des substances valorisables extraites des déchets doit être privilégié. Cette pratique est courante pour les déchets non radioactifs, en particulier pour les déchets métalliques.

Concernant le recyclage des déchets provenant des installations nucléaires, celui-ci est pratiqué par les États membres de l'Union européenne qui le souhaitent en les « libérant », sous certaines conditions, dans le domaine conventionnel en application de la directive du 5 décembre 2013<sup>143</sup>. Au préalable, la libération de ces matériaux était encadrée par la directive 96/29 et les recommandations techniques associées<sup>144</sup>. Trois installations de fusion dédiées aux déchets métalliques radioactifs en vue du recyclage de matériaux métalliques dans le domaine nucléaire ou conventionnel sont ainsi opérationnelles en Europe (ces installations sont exploitées par Socodei en France avec un recyclage uniquement dans le domaine nucléaire, Studsvik en Suède et Siempelkamp en Allemagne).

<sup>143</sup> Directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom.

<sup>144</sup> Les recommandations techniques publiées par la commission européenne sont disponibles sur le site internet : [http://ec.europa.eu/atoz\\_en.htm](http://ec.europa.eu/atoz_en.htm), rubrique « energy », « nuclear energy », « radiation protection ». Il s'agit notamment des rapports :

- Radiation Protection 89 - recyclage des métaux, qui propose des seuils de libération pour le recyclage des métaux provenant du démantèlement des installations nucléaires ;
- Radiation Protection 122 qui propose des seuils pour la libération inconditionnelle des matériaux solides ;
- Radiation Protection 113, qui propose des seuils de libération massique et surfacique pour la démolition ou la réutilisation des bâtiments.

En France, les conditions de valorisation sont encadrées par le code de la santé publique. Son article R. 1333-3 interdit, sauf dérogation, l'utilisation de matériaux ou de déchets provenant d'activités nucléaires et susceptibles d'être contaminés par des radionucléides dans la fabrication de biens de consommation et de produits de construction. Ainsi, les possibilités de recyclage<sup>145</sup> sont restreintes, à titre conservatoire, au sein de la filière nucléaire dans les zones identifiées comme pouvant contenir des déchets contaminés, activés ou susceptibles de l'être.

Dans le respect des principes énoncés par les articles L. 542-1 et suivants du code de l'environnement, des filières industrielles de recyclage des déchets radioactifs ont toutefois été développées par Areva, le CEA ou EDF, par l'intermédiaire parfois de filiales de ces entreprises. Elles sont décrites dans le paragraphe 3.6.3 du présent plan. Elles concernent des déchets de faible activité et, de manière limitée, de très faible activité. Toutefois, les volumes recyclés au sein de ces installations sont marginaux.

L'un des axes de travail du PNGMDR 2013-2015 a ainsi porté sur la valorisation des matériaux métalliques et des gravats, notamment ceux de très faible activité, dans le strict respect de la protection de la santé et de la sécurité des personnes et de l'environnement. EDF, Areva, le CEA et l'Andra ont rendu dans ce cadre des études sur les pistes possibles de développement de ces filières qui sont présentées au paragraphe 3.5.5.1. Par ailleurs, un groupe de travail pluraliste, composé de représentants des exploitants, de l'Andra, du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, des autorités de sûreté (ASN et ASND), de membres de CLI, d'industriels et d'experts français et étrangers a été mis en place pour étudier les conditions envisageables de valorisation de déchets TFA<sup>146</sup>. Les conclusions de ce groupe de travail sont présentées au paragraphe 3.5.5.3.

#### **3.5.5.1 Propositions des exploitants nucléaires relatives à la valorisation de gravats TFA**

Areva, le CEA et EDF ont évalué l'inventaire prévisionnel des gravats à produire. Ils estiment qu'environ 240 000 t de gravats seront produites entre 2012 et 2033, dont 64 000 t pourraient être valorisées.

##### *Utilisation de gravats comme matériaux de comblement au Cires*

Le projet étudié par l'Andra consiste à remplacer, dans les alvéoles de stockage du Cires, les matériaux sableux (« grave non traitée ») qui permettent de combler les vides au sein d'un colis, entre colis ou encore en couche de roulement entre deux niveaux de stockage et pour la forme finale de l'alvéole une fois remplie, par des gravats de béton TFA concassés. L'Andra utilise actuellement 11 000 t de ces matériaux pour la réalisation d'un alvéole (sachant qu'un alvéole est rempli tous les ans).

Dans l'objectif de permettre cette réutilisation en garantissant des objectifs de sûreté et de radioprotection des personnels ainsi qu'en se prémunissant du risque de dispersion de substances radioactives en dehors des alvéoles de stockage, l'Andra a identifié des critères de granulométrie à

<sup>145</sup> Les raisons de ce choix de gestion sont explicitées dans l'édition 2007-2009 du PNGMDR.

<sup>146</sup> Le rapport remis par le groupe de travail pluraliste dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

atteindre pour les matériaux concassés, des limites d'activité massique pour les bétons et des dispositions d'exploitation particulières.

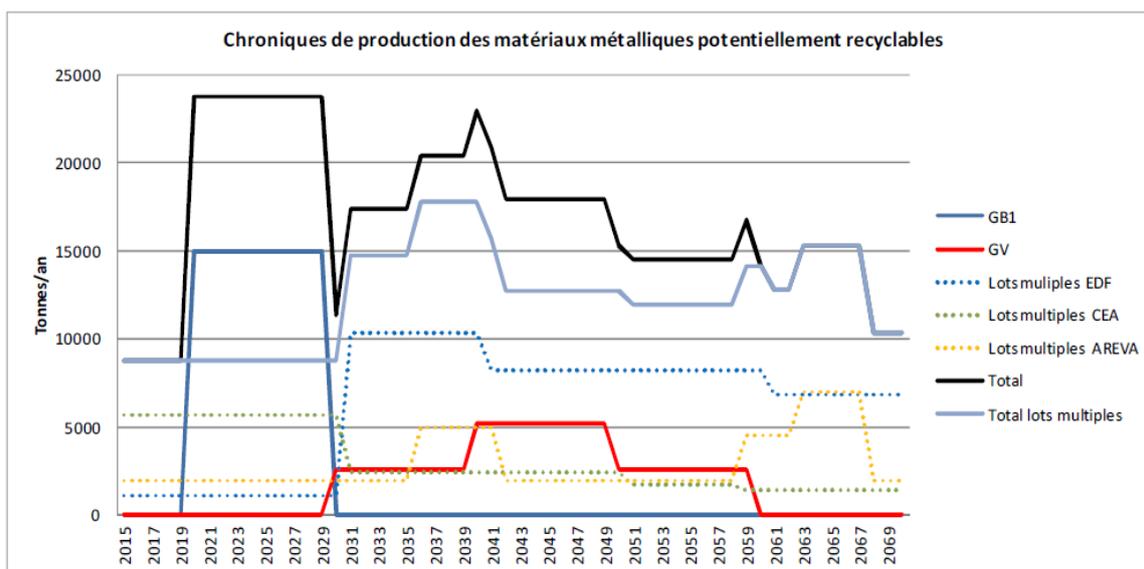
Ainsi, l'Andra estime que 1 800 m<sup>3</sup> par an de bétons concassés pourraient être valorisés, permettant de stocker 8 % de déchets supplémentaires par alvéole sous cette forme. Une étude est en cours pour préciser ces valeurs et vérifier la pertinence économique de ce mode de gestion. Ses conclusions sont prévues par l'Andra pour fin 2016.

**R5 – L'Andra doit terminer, au plus tard avant le 31 mars 2017, l'étude associée à l'utilisation des gravats de très faible activité comme matériaux de comblement des vides dans les alvéoles du Cires.**

**R6 – Afin d'optimiser l'utilisation du Cires, sauf conditions rédhibitoires concernant la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement, l'Andra devra déployer de manière opérationnelle cette filière de valorisation des gravats de très faible activité avant le 31 décembre 2018, sous réserve que sa mise en œuvre soit faisable dans des conditions économiquement acceptables, l'analyse économique devant inclure la rareté de la ressource en stockage.**

### 3.5.5.2 Propositions des exploitants nucléaires relatives à la valorisation des matériaux métalliques

Areva, le CEA et EDF ont réalisé un inventaire prospectif des déchets métalliques TFA qui seront produits d'ici 2070. Ils estiment qu'environ 900 000 t potentiellement valorisables seraient produites au cours de cette période. Cet inventaire, dont les chroniques prévisionnelles de production sont détaillées dans la figure ci-après, se décompose de la façon suivante : environ 150 000 t d'aciers issus des diffuseurs de l'usine George Besse 1 (GB1), 100 000 t provenant de la part valorisable des générateurs de vapeur (GV) du parc EDF et 650 000 t de métaux en vrac dont les exploitants nucléaires estiment qu'une partie significative est exempte d'activité.



#### Chroniques de production des matériaux métalliques potentiellement recyclables

Source : rapport AREVA, CEA, EDF remis fin 2014 au titre du PNGMDR 2013-2015 sur l'évaluation des modalités de réalisation d'une filière de valorisation des matériaux métalliques issus de démantèlement des installations nucléaires

Une première étude sur les modalités envisageables de valorisation de matériaux TFA avait été remise en 2012 par l'Andra, Areva, le CEA et EDF. Le rapport concluait qu'une fonderie dédiée semblait la plus adaptée mais que la faisabilité industrielle de sa mise en œuvre dans une filière de recyclage sous forme de conteneurs en fonte pour déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) n'était pas démontrée, avec un équilibre économique non garanti et fragile.

Les rapports remis par Areva, le CEA et EDF et par l'Andra dans le cadre du PNGMDR 2013-2015<sup>147</sup> proposent les modalités industrielles nécessaires à la faisabilité d'une filière de recyclage de matériaux TFA.

Les exploitants soulignent que le recyclage est rendu difficile en France par l'absence de débouchés en dehors de zones à production possible de déchets nucléaires des installations nucléaires, la complexité du processus d'autorisation pour le développement de filières de valorisation et la compétitivité du stockage TFA. Pour l'encourager, les industriels considèrent que la réglementation devrait être proportionnée aux risques présentés par certains déchets pour lesquels il n'est pas détecté de radioactivité. Selon les exploitants, la mise en place de modalités de gestion différenciées sur la base de seuils d'activité serait justifiée par une approche proportionnée aux enjeux sanitaires et environnementaux. Cette approche, qui s'inscrirait dans l'extension des principes en vigueur pour les déchets industriels et dangereux aux déchets susceptibles d'être radioactifs, permettrait également selon les exploitants de favoriser la valorisation de certains matériaux non ferreux et semi-précieux présents en petites quantités, en s'appuyant sur des installations existantes.

Des solutions industrielles de traitement / recyclage de métaux existent en France et en Europe et des projets sont à l'étude, notamment pour les grands lots homogènes que constituent les générateurs de vapeur (GV) du parc EDF et les diffuseurs de l'usine GB1. Les exploitants nucléaires estiment ainsi que le cas particulier des aciers de GB1 pourrait constituer un des pilotes permettant de mettre en place une filière de valorisation. Ils proposent un schéma de filière comprenant une fonderie qui serait une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) dédiée, traitant exclusivement des déchets métalliques provenant d'INB, par lots. Ceux-ci pourraient être ensuite transformés en produits dans une installation conventionnelle dédiée ou temporairement dédiée.

Selon les exploitants nucléaires, la décontamination, notamment du fait de la fusion, devrait permettre d'atteindre dans certains cas des niveaux d'activité ne présentant plus d'enjeu de radioprotection. Les propriétés de décontamination de la fusion, notamment pour les éléments émetteurs alpha (uranium par exemple), sont confirmées par le retour d'expérience des installations européennes.

Les débouchés étudiés pour la valorisation de ces matériaux au sein de l'industrie nucléaire, sous forme de caissons blindés<sup>148</sup>, représentent un potentiel important de 80 000 à 140 000 t, mais significativement inférieur à l'inventaire de 900 000 t de matériaux métalliques TFA recensé par les exploitants sur la période étudiée. Les exploitants considèrent que d'autres solutions devraient

---

<sup>147</sup> Ces rapports sont disponibles sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

<sup>148</sup> Leur acceptation en stockage devrait être démontrée au regard de leur impact potentiel sur les conditions d'exploitation et sur la sûreté à long terme du stockage.

être identifiées pour envisager la viabilité d'une filière industrielle offrant des possibilités d'utilisation en dehors des zones à production possible de déchets nucléaires.

Le plan d'actions proposé par les producteurs consiste à :

- *« poursuivre et concrétiser les études sur les solutions industrielles envisagées principalement pour les deux lots homogènes (GB1 et GV) et développer les synergies et mutualisations possibles ;*
- *caractériser l'ensemble des débouchés possibles de valorisation selon la réglementation en vigueur ;*
- *mettre en évidence l'intérêt d'évolutions réglementaires auprès de pouvoirs publics et des parties prenantes pour développer des filières de valorisation, notamment pour l'ensemble des lots divers, majoritaires en volume, pour lesquels ne sont pas à ce stade identifiées de solutions industrielles. »*

### **3.5.5.3 Identification des conditions favorables à la valorisation**

Un groupe de travail pluraliste a été mis en place par la DGEC et l'ASN dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 afin d'identifier les conditions de valorisation et de recyclage de certaines substances. Sur la base du retour d'expérience des filières de valorisation ainsi que de l'analyse des études menées par l'Andra, Areva, le CEA et EDF, le groupe de travail a formulé des recommandations et proposé des axes de travail sur :

- le plan technique, avec notamment l'identification de typologies de matériaux et procédés permettant l'obtention de caractéristiques physico-chimiques et radiologiques favorables ;
- les filières de valorisation, avec l'identification d'installations adaptées en fonction des enjeux sanitaires, environnementaux, sociétaux et de radioprotection posés par la typologie des substances à chacune des étapes de traitement et des modalités de traçabilités associées ;
- les débouchés envisageables, en proposant une hiérarchisation de ces derniers visant à garantir autant que possible la traçabilité des matériaux valorisés ;
- l'analyse des options de gestion, avec une approche globale de type « cycle de vie » devant permettre de comparer les inconvénients et avantages des différentes solutions envisageables ;
- les modalités d'information et de participations des parties prenantes, sur le plan local et national ;
- le contenu des dossiers de dérogations prévus par la réglementation dans le cas d'une valorisation en dehors de l'industrie nucléaire.

Ainsi, le groupe de travail recommande que :

- l'étude de filières de valorisation soit, en priorité, menée sur de grands lots homogènes dont les caractéristiques sont connues et vérifiables ce qui permet d'envisager le développement d'un procédé à un niveau industriel, de fiabiliser les contrôles aux différentes étapes du procédé et d'apporter des garanties sur la qualité des produits finis ;
- la performance des procédés de traitement soit justifiée sur la base de plusieurs lignes de défense indépendantes et successives, incluant notamment la connaissance des matériaux et des procédés de traitement, ainsi que la définition d'un programme de contrôles et de mesures. À ce stade, la fusion constitue une étape incontournable en vue de la valorisation des matériaux métalliques car elle permet d'en fiabiliser la caractérisation et d'obtenir des lots homogènes. Par ailleurs, elle permet, dans certains cas et par décontamination, l'obtention de caractéristiques favorables à la valorisation de matériaux métalliques ;
- les filières de traitement soient, autant que possible, constituées par des installations ne traitant que des flux provenant d'installations nucléaires. Dans le cas où une étape de traitement doit être réalisée dans une installation traitant également des flux de matières conventionnelles, le groupe de travail recommande que :
  - des dispositions spécifiques soient définies concernant notamment la traçabilité des matériaux, les déchets induits, les rebuts, les rejets, etc. ;

- des critères radiologiques soient définis et contrôlés afin de limiter les contraintes associées à la gestion de matériaux provenant d'installations nucléaires ;
- l'impact potentiel du traitement de matériaux provenant d'installations nucléaires sur l'activité du partenaire industriel soit évalué et contrôlé ;
- les salariés disposent d'une culture suffisante en matière de santé et de sécurité au travail ;
- les modalités de traçabilité des matériaux, déchets, rebuts, chutes, sous-produits... soient déterminées pour chaque étape de la filière de valorisation. Les conditions permettant de dispenser les substances de traçabilité devront, le cas échéant, être précisées ;
- la réutilisation en dehors de zones où les déchets produits sont susceptibles d'être contaminés ou activés ne devrait être envisagée que pour des matériaux pour lesquels l'usage ne serait pas susceptible de porter atteinte à la santé et à la protection de l'environnement en tenant compte des scénarios les plus contraignants, même en cas de perte de traçabilité ;
- que pour chacun des débouchés qui seraient identifiés, les quantités des substances susceptibles d'être valorisées ainsi que le modèle économique soient évalués afin de vérifier la pertinence de la filière projetée ;
- les critères préférentiels de choix des débouchés incluent la garantie de traçabilité des produits sur le long terme ;
- la plus grande transparence soit faite dans le cadre de l'étude puis de la mise en œuvre de filières de traitement et de valorisation :
  - au sein des entreprises (y compris sous-traitantes) : information et participation des salariés, des instances représentatives du personnel, des syndicats, de la médecine du travail, ... ;
  - sur le plan local, notamment sur le lieu de traitement, de transformation (et celui de réutilisation si possible) et le cas échéant, celui de provenance des matériaux : information au sein d'instances telles que les commissions locales d'information, commissions d'information, commissions de suivi de site, ... ;
  - au niveau national (groupe de travail du PNGMDR, ANCCLI, HCTISN) ;
- dans le cas de débouchés en dehors de l'industrie nucléaire, des modalités d'information adaptées soient mises en place.

Concernant la procédure réglementaire, le groupe de travail considère que :

- les dispositions fixées à l'article R. 1333-4 du code de la santé publique pourraient être mises en œuvre pour permettre l'utilisation de matériaux susceptibles d'être contaminés par des substances radioactives dans des biens de construction et de consommation mais que la procédure devrait être adaptée ;
- le dossier remis en application de l'arrêté du 5 mai 2009 devrait s'appuyer sur les éléments suivants :
  - présenter une étude d'impact sanitaire et environnementale ;
  - présenter les quantités de matériaux concernées ;
  - être fondé sur un bilan global incluant une analyse de cycle de vie ;
  - spécifier les conditions de traçabilité et de radioprotection et, le cas échéant, le moment où celles-ci ne sont plus indispensables ;
  - faire l'objet d'une information et d'une participation du public.

#### **3.5.5.4 Perspectives relatives à la valorisation**

L'ASN considère que la gestion des déchets radioactifs TFA doit rester fondée sur le lieu d'origine des déchets et garantir leur traçabilité, grâce à des filières spécifiques, depuis la

production jusqu'au stockage, et que ce principe est incompatible avec la mise en place généralisée de « seuils de libération ».

Les conclusions du groupe de travail présentées au paragraphe 3.5.5.3 doivent constituer une base de travail pour la poursuite des études sur les possibilités de valorisation menées par les producteurs de déchets TFA, sans pour autant que la décision de mise en œuvre effective de cette filière soit prise à ce stade. En tout état de cause, cette mise en œuvre ne pourra être envisagée qu'après les étapes réglementaires prévues par le code de la santé publique, avec notamment l'organisation de plusieurs consultations obligatoires.

**R7 – Les capacités de valorisation des matériaux de très faible activité au sein de la filière nucléaire<sup>149</sup> doivent être pleinement exploitées<sup>150</sup> avant le recours éventuel à d'autres débouchés.**

**R8 – Sur la base des recommandations du groupe de travail dont le résumé est donné au paragraphe 3.5.5.3 et de la recommandation R7, Areva et EDF doivent remettre avant mi-2018 un dossier qui, d'une part, présente les options techniques et de sûreté<sup>151</sup> d'une installation de traitement de leurs grands lots homogènes de matériaux métalliques de très faible activité (part valorisable des GV et diffuseurs de GB1) et, d'autre part, décrit les filières de gestion associées.**

**Ce dossier devra également indiquer le calendrier en vue de la mise en service de l'installation.**

### 3.5.6 L'incinération

L'incinération constitue une technologie mature et éprouvée sur le plan industriel, basée sur les procédés mis en œuvre depuis des décennies pour le traitement des déchets conventionnels. Elle offre l'intérêt d'une forte réduction volumique des déchets avant stockage et permet de traiter un large spectre de déchets : déchets solides, déchets liquides organiques et déchets liquides aqueux. Les déchets finaux sont stables, chimiquement inertes, non dispersables et conditionnés sous des formes adaptées au stockage. La filière d'incinération de Centraco est notamment utilisée pour les déchets de faible et moyenne activité, tel que développé dans le paragraphe 3.6.4 du présent plan.

Pour les déchets de très faible activité, le recours à cette filière est peu utilisé au regard de son coût. Les déchets organiques liquides ou putrescibles sont incinérés mais selon les évaluations de l'Andra, il est estimé que près de 4 000 m<sup>3</sup> de déchets incinérables sont envoyés chaque année directement en stockage.

---

<sup>149</sup> La filière nucléaire correspond aux installations pour lesquelles un plan de zonage déchets est imposé et identifie les zones pouvant contenir des déchets contaminés, activés ou susceptibles de l'être, afin de garantir la traçabilité des déchets qui en sont issues, depuis la production jusqu'au stockage.

<sup>150</sup> Cette analyse doit être réalisée en prenant en compte les calendriers de production de ces matériaux et de consommation au sein de la filière nucléaire. Elle doit donc prendre en compte les installations nouvelles si les calendriers sont compatibles.

<sup>151</sup> Correspondant à un stade d'étude d'avant-projet sommaire.

**R9 – L’Andra, en lien avec Socodei et les producteurs de déchets radioactifs, remettra avant fin 2017, pour chaque type de déchets TFA incinérables, une étude comparant, sur les plans de la protection de la santé des personnes, de l’environnement et de la sécurité, l’incinération puis le stockage des résidus avec un stockage direct. Cette analyse devra notamment prendre en compte les rejets radioactifs et chimiques induits par le procédé d’incinération.**

**Le PNGMDR 2018-2021 pourra alors statuer sur le caractère de meilleure technique disponible (MTD) de l’incinération pour certains types de déchets TFA.**

### **3.5.7 Le stockage des déchets TFA sur site ou à proximité des sites de production**

Le stockage de certains déchets radioactifs sur site ou à proximité des sites, notamment ceux en démantèlement qui produisent des quantités importantes de déchets TFA, pourrait être envisagé afin notamment de limiter les transports de déchets radioactifs en distance et en volume, conformément aux principes fixés à l’article L. 541-1 du code de l’environnement. Il s’adresserait à certains déchets TFA dont l’activité massique et les propriétés physico-chimiques permettraient des modalités de gestion régionales.

À ce sujet, l’ASN considère que la possibilité de créer localement des installations dédiées de stockage, adaptées à certains types de déchets TFA, doit être étudiée dans des conditions de respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l’environnement au moins équivalentes à celles du Cires<sup>152</sup>.

Areva, le CEA et EDF considèrent que l’intérêt du stockage sur site est à évaluer en prenant en compte l’ensemble des impacts environnementaux, économiques et industriels (y compris les projets de réutilisation des sites industriels). Selon eux, une attention particulière doit être portée sur le dimensionnement des projets, vis-à-vis des contraintes de sûreté qui devront être adaptées aux caractéristiques radiologiques, mais qui devront également tenir compte de la viabilité industrielle d’un tel stockage et de ces liens sur l’exploitation du Cires et le schéma industriel TFA en général. La démarche devra reposer notamment sur :

- l’analyse des conséquences relatives à l’emprise de ces projets sur les sites industriels,
- l’adaptation du cadre réglementaire nécessaire (conception, exploitation, surveillance), à partir notamment de la définition des typologies et caractéristiques de déchets éligibles à ce type de stockage.

**R10 – Areva, le CEA et EDF doivent mettre en place une démarche itérative avec l’Andra en vue de conclure, au plus tard avant le 30 juin 2020, sur la faisabilité de créer, sur ou à proximité de leurs sites respectifs, des installations de stockages adaptées à certaines typologies de déchets TFA dont les caractéristiques permettraient d’envisager, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l’environnement, un stockage dans des installations dédiées autres que le Cires, dans des conditions technico-économiques acceptables.**

<sup>152</sup> L’avis n° 2016-AV-0258 de l’ASN du 18 février 2016 concernant la gestion des déchets TFA et FMA-VC est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l’ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l’ASN », « avis de l’ASN ».

**Cette démarche itérative devra s'appuyer, d'une part, sur l'identification prospective, par les exploitants nucléaires, des volumes, de l'activité massique et des propriétés physico-chimiques des typologies de déchets TFA concernés et, d'autre part, sur la définition, par l'Andra, des caractéristiques des concepts de stockage adaptés à celles-ci.**

**Cette démarche doit s'inscrire dans l'objectif de limitation des transports de déchets en distance et en volume mentionné à l'article L. 541-1 du code de l'environnement.**

**L'impact sur l'environnement de ces modalités de gestion devra faire l'objet d'une analyse comparée par rapport à un scénario d'un envoi au Cires ou une installation équivalente.**

### **3.5.8 Le stockage des déchets au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)**

#### *Concept de stockage*

Les modalités de stockage des déchets de très faible activité sont basées sur les concepts techniques des installations de stockage de déchets industriels dangereux (ISDD). Il s'agit d'un stockage en surface, dans des alvéoles creusées dans l'argile dont le fond est aménagé pour recueillir d'éventuelles eaux infiltrées pendant toute la durée du stockage. Les déchets sont ainsi isolés de l'environnement par un dispositif comprenant :

- une « barrière active » constituée d'une membrane en matériau polymère entourant les déchets qui permet de collecter d'éventuels lixiviats et de les orienter vers des puits ;
- une « barrière passive » constituée d'une couche d'argile sous et sur les flancs des alvéoles de stockage, ainsi que d'une couverture, elle-même en argile, disposée au-dessus des déchets.

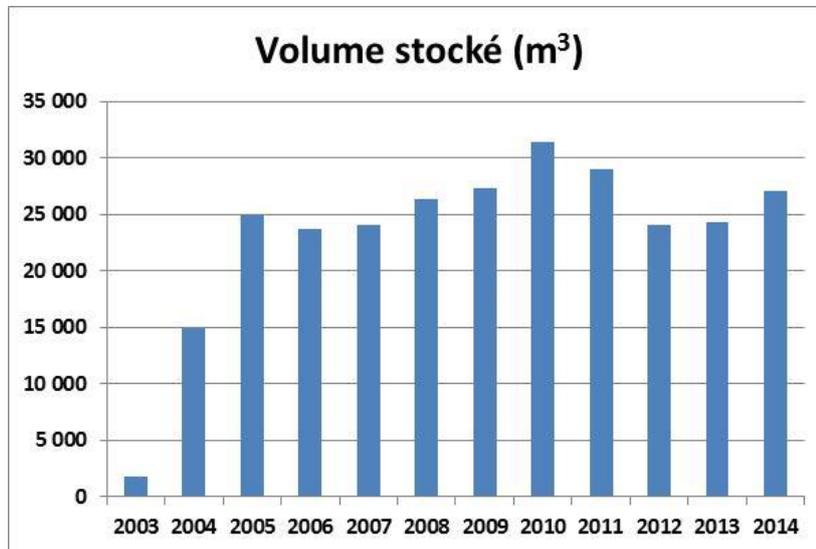
Pendant l'exploitation du centre, la mise en place des déchets s'effectue à l'abri des eaux de pluie grâce à des toits mobiles. Sur le long terme, le confinement des éléments radioactifs et des substances chimiques sera assuré par les propriétés de perméabilité de la formation argileuse.

L'expérience acquise lors de l'exploitation du centre a permis à l'Andra d'optimiser la géométrie des alvéoles de stockage, en améliorant ainsi l'utilisation de l'espace de stockage, c'est-à-dire le rapport entre le volume de déchets stockés et la surface occupée. La longueur des alvéoles a été doublée, elles ont été approfondies, leurs pentes ont été rendues un peu plus raides. De ce fait, il serait techniquement possible de stocker dans la même emprise un volume de déchets supérieur de 40 % à la capacité autorisée réglementairement (hors prise en compte des optimisations présentées au paragraphe 3.5.5.2). L'Andra a également développé de nouveaux abris mobiles pour protéger les alvéoles de stockage de la pluie ; le déplacement de ces nouveaux abris sera plus facile et moins dépendant des conditions météorologiques, ce qui réduira les risques éventuels d'indisponibilité du stockage.

Des colis de géométries non standards peuvent être pris en charge au Cires. Quatre générateurs de vapeur de la centrale de Chooz A ont ainsi pu être stockés sans découpe, après décontamination sur site lors du démantèlement. Pour répondre industriellement à ce besoin, l'Andra a annoncé qu'elle va mettre en service un alvéole dédié pour le stockage des colis hors normes (grands composants), notamment issus du démantèlement d'installations nucléaires. Cet alvéole sera équipé de moyens de manutention adaptés aux lourdes charges.

### Capacité volumique et radiologique du Cires

À la fin de l'année 2014, le volume total stocké était d'environ 280 000 m<sup>3</sup>, soit 43 % de la capacité réglementaire autorisée (650 000 m<sup>3</sup>). Ce volume représente 290 000 t de déchets environ.



Volume annuel de déchets stockés au Cires (Source : Andra)

La gestion de la capacité radiologique du stockage du Cires ne pose pas de difficulté particulière au stade actuel. Par rapport aux autorisations, le niveau d'utilisation est en général inférieur à 5 %, à l'exception de celui du <sup>232</sup>Th qui est à fin 2014 de 30 %, et de <sup>108m</sup>Ag qui est de 10 %. Ces valeurs restent toutefois inférieures à la consommation de la capacité volumique.

#### I3 – Suivi de la capacité volumique du Cires.

#### I4 – Suivi des capacités radiologiques du Cires, par radionucléide.

#### Optimisation de la gestion des déchets stockés au Cires

La densité des colis de déchets radioactifs stockés au Cires (environ 1 t/m<sup>3</sup>) est structurellement inférieure de 20 à 30 % aux prévisions initiales. La faiblesse de la densité des déchets stockés est à même d'entraîner une saturation anticipée du Cires. Ainsi, **l'augmentation de la densité des déchets stockés doit être recherchée.**

**R11 – L'Andra et les producteurs de déchets doivent mettre en œuvre des dispositions afin d'augmenter la densité des déchets stockés au Cires. Des avancées sont attendues sur chacune des voies mentionnées dans la recommandation R12.**

**La justification de la suffisance des moyens mis en œuvre (cisailles, presse...) sur les principaux sites de production de déchets TFA devra être réalisée, pour les INB, dans les « études déchets » de ces installations.**

**R12 – A cette fin, l'Andra doit réaliser, avant mi-2018, en lien avec les producteurs de déchets TFA et Socodei, une étude analysant, sur le plan de la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement, plusieurs options : densification sur les sites des producteurs, amélioration des équipements existants ou mise en service de nouveaux équipements au Cires.**

**R13 – Les producteurs de déchets métalliques TFA et Socodei, en lien avec l'Andra, doivent remettre, avant le 30 juin 2018, une étude de la faisabilité technico-économique de la fusion des déchets métalliques TFA en vue de leur densification. Cette étude devra intégrer les impacts sur l'environnement.**

**I5 – Suivi de la densité des déchets stockés au Cires. [Objectif : augmentation de la densité – objectif à préciser ultérieurement]**

### 3.5.9 Optimisation des filières de gestion des déchets TFA

Sur la base des éléments fournis par les producteurs dans le cadre de l'établissement de l'édition 2015 de l'Inventaire national, la capacité volumique de l'installation de stockage du Cires serait saturée vers 2025, plus tôt que l'échéance de 2030 prise en compte à la conception du centre.

Sur la base de ces échéances prévisionnelles de saturation et des besoins en stockage actuellement évalués par les producteurs, un schéma industriel de gestion des déchets TFA<sup>153</sup> a été établi par l'Andra et présente plusieurs pistes de gestion complémentaires qui pourraient, dans l'absolu, être mises en œuvre. Les pistes considérées par l'Andra dans ce schéma industriel sont les suivantes :

- construction d'un second centre de stockage des déchets TFA ;
- valorisation de certaines substances TFA dans la filière nucléaire (cela pourrait concerner de l'ordre de 100 000 à 200 000 m<sup>3</sup> selon le schéma industriel) ;
- valorisation de certaines substances TFA dans une filière conventionnelle (sous réserve d'une dérogation) (cela pourrait concerner de l'ordre de 300 000 m<sup>3</sup> selon le schéma industriel) ;
- construction d'un ou plusieurs stockages, éventuellement sur les sites de production des déchets, pour les déchets de « très très faible activité » (cela pourrait concerner de l'ordre de 600 000 m<sup>3</sup> selon le schéma industriel) ;
- réduction poussée des volumes de déchets produits (cela pourrait concerner de l'ordre de 600 000 m<sup>3</sup> selon le schéma industriel) ;
- mise en place de seuils de libération (cela pourrait concerner de l'ordre de 600 000 m<sup>3</sup> selon le schéma industriel).

Il ressort de cette évaluation prospective que, quelles que soient les optimisations de l'espace de stockage du Cires qui peuvent être mis en œuvre, le besoin d'augmenter les capacités de stockage de déchets TFA est incontournable<sup>154</sup> pour permettre la gestion en toute sûreté des déchets TFA

<sup>153</sup> Ce rapport est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

<sup>154</sup> Les chiffres potentiels affichés par piste de gestion ne s'additionnent pas, car les chiffres pour deux pistes peuvent porter sur la même fraction initiale de déchets. À titre d'exemple, un même déchet métallique peut être considéré à la fois comme « recyclable » et « libérable ».

qu'il reste à produire d'ici à la fin du démantèlement des installations existantes et qui s'élèvent à plus de 1 300 000 m<sup>3</sup> suivant les estimations de l'édition 2015 de l'Inventaire national.

**R14 – L'Andra doit préciser les conditions d'augmentation de la capacité volumique et radiologique du Cires pour une même emprise au sol et en confirmer la possibilité.**

**R15 – Si cette possibilité est confirmée, l'Andra devra déposer une demande d'augmentation de la capacité autorisée du Cires au-moins 6 ans avant la saturation prévue de cette installation. Ce délai permettrait, en cas de refus de l'autorité administrative, de disposer du temps nécessaire pour disposer d'un nouveau site.**

**R16 – L'Andra doit étudier, d'ici fin 2020, la mise à jour de critères d'acceptation en stockage TFA de certains déchets contenant des substances thorifères et uranifères dans le respect des objectifs de sûreté du stockage.**

Une deuxième installation de stockage des déchets TFA sera à terme nécessaire pour assurer le stockage des déchets TFA qui seront produits.

**R17 – Les objectifs de sûreté et la conception de cette installation devront prendre en compte le retour d'expérience de la conception, la construction et l'exploitation du Cires, l'avancée des connaissances scientifiques, les meilleures techniques disponibles conformément aux règles applicables aux installations classés pour la protection de l'environnement.**

Les pistes complémentaires de gestion des déchets TFA doivent toutefois être étudiées plus en avant, notamment pour l'amélioration de la prise en compte des principes généraux de gestion des déchets définis aux chapitres I et II du titre IV du livre V du code de l'environnement (hiérarchisation des modes de gestion des déchets, prévention et réduction à la source du volume et de la nocivité des déchets, limitation des transports) qu'elles peuvent apporter.

**R18 – L'Andra, en lien avec les producteurs de déchets, doit remettre avant fin 2020 un schéma industriel global révisé de la gestion des déchets de très faible activité, intégrant les coûts associés pour les divers scénarios qui pourraient être établis. Cette mise à jour intègre une proposition de grille d'analyse multicritères permettant de justifier la pertinence des choix retenus pour la gestion des déchets TFA, notamment sur le plan environnemental.**

### 3.5.10 Transport des déchets radioactifs

Les transports de déchets TFA produisent des impacts environnementaux. L'optimisation des transports doit donc être recherchée afin de les limiter.

**R19 – Areva, le CEA, EDF doivent remettre avant, le 31 décembre 2018, une étude permettant d'évaluer et de réduire les impacts environnementaux liés au transport des déchets TFA, le cas échéant après traitement, au stockage au Cires.**

### 3.6 La gestion des déchets FMA-VC

Les déchets de faible et moyenne activité dits à vie courte (dont la radioactivité provient principalement de radionucléides dont la période est inférieure à 31 ans) sont stockés, depuis 1969, dans des centres de stockages de surface dédiés.

Le centre de stockage de la Manche a accueilli, entre 1969 et 1994, 527 000 m<sup>3</sup> de colis de déchets. Il est entré en phase de surveillance en 2003. L'étanchéité du centre repose sur la mise en place d'une couverture ; la stabilité à long terme de cette dernière nécessite un confortement (adoucissement des pentes) qui se déroulera sur une période d'une cinquantaine d'années. Des dispositions ont été prises, pour conserver, pour les générations futures, la mémoire du centre et des déchets stockés.

À la fin de l'année 2014, le volume total des colis stockés au centre de stockage de l'Aube (CSA) était d'environ 292 000 m<sup>3</sup>, soit 29 % de la capacité réglementaire autorisée (1 000 000 m<sup>3</sup>). Les efforts de réduction de la production des déchets FMA-VC à la source, ainsi que la mise en service d'un centre de stockage des déchets TFA sur le Cires et de filières de fusion et d'incinération ont permis d'allonger la durée de vie du centre.

**Le PNGMDR 2016-2018 demande qu'Areva, le CEA, EDF et Socodei réalisent une étude sur des modalités de transports des déchets FMA-VC permettant d'en réduire les impacts environnementaux. Il demande également à ces exploitants de remettre l'avant-projet sommaire d'une installation de traitement du plomb.**

#### 3.6.1 Contexte et enjeux

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (dont la radioactivité provient principalement de radionucléides qui ont une période inférieure à 31 ans) sont essentiellement produits au cours du fonctionnement des installations nucléaires (usines, laboratoires, centrales nucléaires de production d'électricité) et tout particulièrement du fait d'activités de maintenance (vêtements, outils, filtres...). Ils peuvent également provenir d'opérations d'assainissement et de démantèlement de telles installations (notamment des centres nucléaires de production d'électricité). Ils se présentent sous forme :

- solide, comme par exemple des outils, gants, vêtements, pièces et composants démontés, des filtres d'eau ou d'air, des résines échangeuses d'ions, etc.
- liquide, comme par exemple des effluents de décontamination, des concentrats d'évaporateur, des solvants usagés, des liquides scintillants utilisés pour l'analyse, etc.

Certains déchets de type FMA-VC sont traités par fusion ou incinérés dans l'installation Centraco exploitée par Socodei à Marcoule afin de réduire leur quantité et leur nocivité. Les déchets radioactifs ultimes sont stockés dans deux installations de stockage de surface : le centre de stockage de la Manche (CSM) qui n'accueille plus de déchets depuis 1994 et le centre de stockage de l'Aube (CSA), en service depuis 1992.

La quantité de déchets FMA-VC produite à fin 2013 était d'environ 880 000 m<sup>3</sup> et l'édition 2015 de l'Inventaire national évalue leur volume (stocké et à produire) à environ 1 000 000 m<sup>3</sup> en 2020

et 1 200 000 m<sup>3</sup> en 2030. Le CSM accueillant 527 000 m<sup>3</sup> de déchets et le CSA possédant une capacité de 1 000 000 m<sup>3</sup>, le besoin en nouvelles capacités de stockage n'est pas envisagé à court ou moyen terme. Toutefois, l'Inventaire national prévoit un inventaire à terminaison des installations de 1 900 000 m<sup>3</sup>. Ainsi, les installations existantes ne devraient pas être en capacité de recevoir l'ensemble des déchets produits par le fonctionnement et le démantèlement des installations actuelles.

En tout état de cause, l'optimisation de la gestion des déchets FMA-VC doit être recherchée afin de prévenir leur production et de réduire la quantité et la nocivité des déchets radioactifs ultimes. Par ailleurs, des pistes d'optimisation globale de la gestion des déchets radioactifs sont conditionnées par l'évolution des spécifications d'acceptation de certains déchets au CSA. Cette possibilité devra donc être examinée par l'Andra dans le respect de la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement et notamment la sûreté nucléaire.

### **3.6.2 Modalités de gestion par les producteurs**

Les déchets radioactifs ultimes de type FMA-VC sont destinés au centre de stockage de l'Aube de l'Andra. Dans un objectif de préservation de la ressource du stockage, des dispositions (tri, traitements...) sont mises en œuvre pour réduire le volume des déchets radioactifs ultimes. Les progrès réalisés dans la conception et l'exploitation des installations nucléaires, la gestion du combustible, le fonctionnement des installations nucléaires et les actions de réduction des déchets à la source ont permis de réduire le volume de ces déchets. À titre d'exemple, le volume annuel de déchets FMA-VC conditionnés par réacteur en fonctionnement est passé de 360 m<sup>3</sup> en 1985 à 100 m<sup>3</sup> en moyenne depuis 1996. Les exploitants nucléaires ont par ailleurs engagé des actions pour limiter autant que possible le volume de déchets (en cours de conditionnement ou conditionnés) entreposés sur leurs sites en pratiquant une politique d'évacuation en ligne.

Pour pouvoir être stockés, les déchets de type FMA-VC doivent être conditionnés afin de constituer un bloc solide, non dispersable, qui ne contient pas d'eau susceptible d'être relâchée. Leur conditionnement doit être conforme aux spécifications d'acceptation<sup>155</sup> du stockage et les producteurs doivent obtenir un agrément de la part de l'Andra attestant de la conformité des colis aux spécifications d'acceptation en stockage préalablement à la livraison des colis. Un projet de décision de l'ASN est en cours de préparation afin de notamment préciser les conditions selon lesquelles les colis de déchets doivent être produits et peuvent être reçus sur les centres de stockage existants.

Les colis doivent assurer un confinement du déchet adapté aux caractéristiques radiologiques de celui-ci. Ce confinement est assuré par un blocage ou un enrobage des déchets, le cas échéant après un traitement préalable, à l'aide de matériaux spécifiques adaptés aux caractéristiques physico-chimiques des déchets. Des liants hydrauliques (mortier, coulis) sont principalement utilisés mais d'autres matériaux (par exemple des résines époxydiques...) peuvent être privilégiés

---

<sup>155</sup> Ces spécifications d'acceptation des colis de déchets radioactifs définissent les principaux critères auxquels un colis de déchets radioactifs définitif doit se conformer pour être accepté dans l'installation en vue de son stockage et notamment ses propriétés radiologiques, physiques, mécaniques et chimiques. L'exploitant d'une installation de stockage doit mettre en œuvre des dispositions de contrôle du respect de ces spécifications par les déchets acceptés dans son installation.

lorsque les déchets sont susceptibles d'interagir avec un matériau de type liant hydraulique et de dégrader ses performances.

Les opérations de conditionnement peuvent être réalisées en intégralité sur le site de production ou nécessiter un transit par une installation de conditionnement mutualisée entre différents producteurs. Des opérations sont ainsi réalisées par l'Andra sur le site du CSA (injection des caissons, compactage de fûts, conditionnement dans les alvéoles de stockage pour certains déchets de grande dimension) ou par un autre industriel (par exemple : Socodei, Triade).

Les principales installations de gestion des déchets de type FMA-VC des exploitants nucléaires sont :

- pour le CEA, les installations de traitement des effluents (STELLA, STEL MAR, STED PN) et les installations de traitement de déchets solides (INB72, CDS à Marcoule, ICPE312 à Cadarache) ;
- pour EDF, les bâtiments de traitement et de conditionnement des déchets constitués :
  - o des bâtiments de traitement des effluents (BTE) sur les centrales de type P4 et N4,
  - o des bâtiments annexes de conditionnement (BAC) sur les centrales de type CP1, CP2, P4 et sur le site de Fessenheim,
  - o du bâtiment des auxiliaires nucléaires généraux (BANG) sur la centrale du Bugey.
- Ces installations sont utilisées pour réaliser les opérations de conditionnement des déchets (compactage, enfûtage, blocage dans un liant hydraulique,...) ainsi que pour entreposer les colis de déchets FMA-VC dans l'attente de leur expédition vers le CSA ou Centraco. Elles permettent également d'accueillir des unités mobiles (dénommées Mercure) exploitées par Socodei, qui sont utilisées pour procéder périodiquement au conditionnement des résines échangeuses d'ions usées ;
- pour Areva, les installations de traitement des déchets des sites de La Hague, du Tricastin et de Triade. Ces installations conditionnent et entreposent (avant expédition au CSA ou à Centraco) les déchets pour les besoins du site ou pour celui d'autres clients. Le conditionnement consiste notamment en des opérations diverses de compactage, de mise en emballage (fûts, coque...) et de blocage ou d'enrobage à l'aide d'un liant hydraulique.

### **3.6.3 La fusion/valorisation**

Certains déchets métalliques sont traités par fusion qui permet, selon les caractéristiques physico-chimiques des déchets, de les décontaminer, au moins partiellement, par ségrégation des radioéléments dans les différents produits et sous-produits de la fusion.

L'étape de fusion peut notamment être utilisée pour :

- réduire le volume de déchets ultimes stockés, les lingots produits, acceptables dans les centres de stockage en surface, étant plus denses que les déchets bruts ;
- caractériser les déchets et en déclasser une partie de la catégorie FA à la catégorie TFA ;
- recycler certains métaux ferreux répondant à des critères métallurgiques précis.

L'unité de fusion de l'usine Centraco située à Marcoule et exploitée par Socodei traite des déchets métalliques TFA et FA : structures métalliques, vannes, pompes, outils en acier inoxydable, acier au carbone, acier galvanisé et métaux non ferreux issus des opérations de maintenance et de démantèlement des installations nucléaires, ainsi que les déchets induits issus de l'incinération tels que les emballages. Les déchets métalliques sont triés et préparés (tri, découpe, mise au gabarit...)

puis fondus dans un four électrique à induction, d'une capacité de quatre tonnes. Les capacités autorisées de traitement du four de fusion sont de 3 500 t/an. Le traitement par fusion des déchets métalliques dans l'unité de fusion permet d'en réduire le volume d'un facteur 10 à 12.

De 1999 à 2011, environ 21 700 tonnes de déchets métalliques ont été traitées au sein de l'unité de fusion, dont 600 tonnes recyclées sous forme de protections radiologiques intégrées (PRI)<sup>156</sup> entre 2002 à 2011 (55 t/an en moyenne et près de 140 tonnes en 2011). Le four de fusion a été arrêté à la suite d'un accident survenu le 12 septembre 2011<sup>157</sup>. Son redémarrage a été autorisé par l'ASN par décision du 9 avril 2015<sup>158</sup>.

Le retour d'expérience de la fabrication de PRI à Centraco montre la faisabilité d'un recyclage de déchets métalliques en vue d'une réutilisation dans le secteur nucléaire. Cependant, l'existence d'exigences métallurgiques importantes concernant l'acier constitutif des PRI limite les quantités de déchets valorisables car elles induisent des opérations de tri préliminaires conséquentes.

De manière similaire, une filière de recyclage par fusion du plomb de faible activité mise en place en juin 2003 dans une installation du site de Marcoule (CEA) permettait une décontamination par fusion du plomb de faible activité. Cette filière a été arrêtée en 2013 en raison du démantèlement de l'installation dans laquelle le four se situait. L'activité du plomb décontaminé en sortie de four était inférieure ou égale à 0,5 Bq/g en moyenne et permettait sa mise en forme dans trois fonderies conventionnelles autorisées (l'une exploitée par D'huart industrie et les deux autres par Robatel industrie). La séparation physique des flux était contrôlée par audits et reposait sur les éléments de traçabilité mis en œuvre, sur l'organisation des installations concernées et sur le respect des spécifications. La préparation des déchets de plomb de faible activité en amont de leur introduction dans le four de fusion s'est révélée toutefois coûteuse (découpes manuelles, rabotage, séparation des matériaux) rendant l'équilibre économique délicat. L'intérêt d'un recyclage par fusion du plomb a fait l'objet d'une étude par Areva, le CEA et EDF. Cette étude identifie un inventaire d'environ 12 000 t de plomb FMA à recycler qui nécessite d'être consolidé. L'intérêt de l'investissement des producteurs de déchets est notamment lié aux possibilités de valorisation du plomb décontaminé et à l'équilibre économique de la filière qui doit être précisé.

**R1 – Areva, le CEA et EDF, en lien le cas échéant avec Socodei, remettront, avant le 31 décembre 2018, l'avant-projet sommaire d'une installation de traitement du plomb.**

### 3.6.4 L'incinération

L'incinération est le procédé thermique le plus fréquemment utilisé dans l'industrie nucléaire au niveau mondial pour le traitement des déchets radioactifs de faible et moyenne activité. Elle offre l'intérêt d'une forte réduction volumique des déchets (d'un facteur 10 à 20) avant stockage et permet de traiter un large spectre de déchets : certains déchets solides, déchets liquides

<sup>156</sup> Ces PRI sont insérées au sein de coque béton destinées à conditionner des déchets irradiants de type FMA-VC. Elles permettent l'atténuation des rayonnements ionisants et donc de limiter le débit de dose à la surface du colis formé.

<sup>157</sup> L'avis d'incident est disponible sur le site de l'ASN : <http://www.asn.fr>, rubrique « action de l'ASN », « contrôle », « actualités du contrôle », « avis d'incident des INB/2011 ».

<sup>158</sup> Décision du Président de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 avril 2015 autorisant la Société pour le conditionnement des déchets et des effluents radioactifs (Socodei) à redémarrer le four de fusion de l'installation nucléaire de base n° 160, dénommée CENTRACO et située dans la commune de Codolet (Gard).

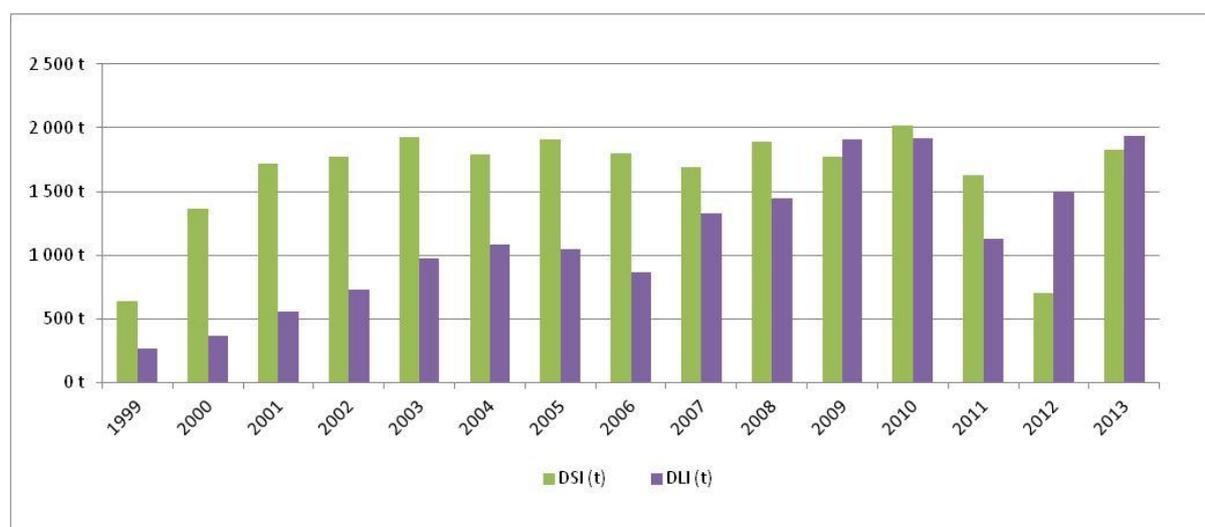
organiques et déchets liquides aqueux. Les déchets finaux sont stables, chimiquement inertes, non dispersables et conditionnés sous des formes adaptées au stockage.

En France, la filière d'incinération de déchets radioactifs repose sur l'installation Centraco, exploitée par la société Socodei, sur le site de Marcoule. L'installation Centraco est utilisée aujourd'hui par l'ensemble des producteurs de déchets radioactifs : Areva, le CEA et EDF ainsi que l'Andra, celle-ci assurant la collecte des déchets des petits producteurs hors électronucléaire (essentiellement issus des hôpitaux et des laboratoires de recherche).

Depuis son démarrage en 1999, l'incinérateur de Centraco constitue un maillon essentiel de la gestion des déchets radioactifs produits par les centrales nucléaires en fonctionnement d'EDF et désormais par le programme de déconstruction des réacteurs arrêtés qui représentent plus de 90 % en masse des flux annuels livrés. La majorité des déchets technologiques de très faible activité et de faible activité tels que gants, surbottes, combinaisons de travail, film plastique, papier, caoutchouc... constituent des déchets solides incinérables et sont traités à Centraco. Des liquides tels que des huiles, solvants et des boues issus des installations sont également incinérés à Centraco. L'installation permet l'incinération simultanée de déchets liquides : huiles, solvants et effluents aqueux.

L'incinération permet de traiter certains déchets (huiles, solvants) qui ne disposaient pas au préalable de filière de gestion et qui, dans certains cas, restaient entreposés sur site. Les autres déchets (solides incinérables, effluents aqueux) disposent de solutions alternatives, par exemple, le conditionnement en fûts métalliques ou le blocage en coques béton pour le centre de stockage de l'Aube, **mais l'incinération doit être, sauf cas particulier, la voie privilégiée compte tenu de la forte réduction volumique qu'elle offre.** Elle permet par ailleurs de disposer d'une caractérisation précise des déchets induits par le traitement.

Depuis son démarrage, le four d'incinération a traité à fin 2013 près de 24 500 t de déchets solides incinérables (DSI) et 17 500 t de déchets liquides incinérables (DLI). La figure ci-après présente les quantités de déchets traitées depuis 1999.



*Quantité de déchets incinérés dans l'installation Centraco (source : Socodei)*

Du fait de l'accident survenu le 12 septembre 2011 sur le four de fusion de Centraco, l'incinérateur a été arrêté jusqu'à mi-2012. Afin de faire face à l'arrêt temporaire de cette filière, les exploitants d'INB ont adapté les modalités de gestion de leurs déchets incinérables (extension des capacités d'entreposage, mise en œuvre de procédés de conditionnement permettant la prise en charge des déchets au CSA...) et l'Andra a doublé le flux de fûts à compacter sur le CSA. Les conséquences sur la filière de gestion des déchets des petits producteurs ont été plus prégnantes sans que le service de collecte de l'Andra n'ait été interrompu.

Afin de renforcer la robustesse de prise en charge des déchets incinérables, de nouvelles capacités d'entreposage sont envisagées sur Centraco et au Cires. Des solutions alternatives de traitement sont également à l'étude pour EDF.

Afin d'augmenter la capacité d'incinération des déchets solides incinérables et des déchets liquides incinérables, le domaine de fonctionnement de l'installation Centraco a fait l'objet de demandes d'élargissements successifs. Le domaine de fonctionnement « Centraco 2 » autorisé en juillet 2014 permet notamment le traitement des solvants tributylphosphate (TBP) en provenance de l'usine de retraitement de la Hague. Le domaine « Centraco 3 » pourrait permettre, sous réserve de l'autorisation de l'ASN, le traitement supplémentaire de 1 000 m<sup>3</sup> d'effluents de lessivage (EDL) des CNPE d'EDF et, le cas échéant, de nouveaux déchets tritiés (déchets orphelins Isotopchim, ITER...).

### **3.6.5 Le stockage**

Les déchets FMA-VC sont stockés dans des installations de stockage en surface exploitées par l'Andra. Le confinement des déchets repose sur un système de trois barrières successives : le colis, les ouvrages de stockage et les sols sur lesquels le stockage est implanté. Après stockage des déchets, les ouvrages sont fermés et les installations font l'objet d'une surveillance pendant une phase dite de surveillance. Les déchets stockés doivent présenter des caractéristiques permettant une durée de surveillance inférieure à 300 ans<sup>159</sup>. Pour autant, cette surveillance pourra être poursuivie à l'issue de cette période et la mémoire du site conservée aussi longtemps que possible.

Les rapports de sûreté de ces installations, mis à jour périodiquement y compris en phase de surveillance, doivent permettre de vérifier que l'activité contenue dans les déchets atteint un niveau résiduel tel que les expositions de l'homme et de l'environnement soient acceptables, même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation.

Deux installations de cette nature existent en France.

#### **3.6.5.1. Le centre de stockage de la Manche**

Mis en service en 1969, le centre de de stockage de la Manche (CSM) fut le premier centre de stockage de déchets radioactifs exploité en France. Le CSM a été exploité pendant 25 années, de 1969 à 1994, années pendant lesquelles les conditions de stockage ont été améliorées continûment. Au total, 527 000 m<sup>3</sup> de colis de déchets y ont été stockés. Les travaux de

---

<sup>159</sup> Le concept est notamment conforme à la règle fondamentale de sûreté RFS I.2 de 1984 disponible sur le site <http://asn.fr>.

couverture se sont déroulés de 1991 à 1997 et le centre est entré en phase de surveillance en janvier 2003.

Les années d'exploitation du CSM ont été marquées, en 1976, par une contamination de la nappe d'eau circulant sous le centre par du tritium. Les déchets à l'origine de cette contamination ont été retirés mais la contamination de la nappe est toujours significative, même si elle décroît régulièrement. L'évolution de cette contamination fait l'objet d'un suivi attentif. L'impact du centre est cependant très faible (l'impact sur un groupe critique hypothétique était estimé en 2013 à 0,3  $\mu\text{Sv}/\text{an}$ ).

La couverture est constituée d'une membrane bitumineuse pour assurer l'étanchéité. Les talus périphériques ont été construits dans une emprise exiguë ce qui a conduit à des instabilités. Un programme de confortement progressif de ces talus a été défini par l'Andra sur une période d'une cinquantaine d'années ; il comprend des phases de mise en sécurité, de confortement puis d'adoucissement des pentes jusqu'au terrain naturel, entre lesquelles sont prévues des phases d'observation. Ce programme nécessite une extension de l'emprise du centre pour laquelle l'Andra a engagé une démarche de maîtrise foncière. Un bilan d'étape des aménagements de la couverture a été transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire en 2015.

Les dispositions visant à préserver la mémoire de ce stockage sont détaillées en annexe 1.

#### **3.6.5.2. Le stockage des déchets au centre de stockage de l'Aube (CSA)**

Les pratiques mises en œuvre au centre de stockage de l'Aube ont bénéficié du retour d'expérience acquis sur le centre de stockage de la Manche.

Le stockage des colis se fait dans des ouvrages en béton, à l'abri des intempéries grâce à des charpentes métalliques mobiles se déplaçant au rythme de l'exploitation. Les colis sont bétonnés ou bloqués par des gravillons dans ces ouvrages selon qu'il s'agit de colis périssables (fûts et caissons métalliques) ou à enveloppe durable (colis en coque béton). Une fois rempli, l'ouvrage est fermé par une dalle, rendue imperméable aux eaux de pluie par une projection de matériau plastique. Les ouvrages seront ensuite protégés par une couverture de très faible perméabilité comprenant une couche d'argile.

Les spécifications d'acceptation du CSA découlent de la démonstration de sûreté et de l'étude d'impact du centre. Elles visent à assurer la sûreté à long terme mais également pendant l'exploitation en garantissant par exemple l'adéquation des colis livrés avec les équipements de traitement et de manutention du centre. L'Andra assure par ailleurs une surveillance de la qualité des colis produits par des audits sur les sites des producteurs. Un second niveau de contrôle des colis livrés sur le centre de stockage est également effectué. Des colis sont prélevés et font l'objet d'expertises réalisées dans des laboratoires prestataires pour l'Andra. L'Andra a décidé de compléter son dispositif de contrôle de second niveau en implantant sur le centre de stockage de l'Aube une installation de contrôle qu'elle exploitera en propre. La mise en service de cette installation est projetée en 2016, sous réserve des autorisations à obtenir.

Les spécifications d'acceptation du CSA sont restrictives concernant l'acceptation de déchets contenant du tritium, d'une part, en vue de respecter les autorisations de rejets liquides ou gazeux et, d'autre part, pour éviter une contamination à moyen terme de la nappe circulant sous le

centre, le tritium étant un radioélément très mobile. De ce fait, les déchets tritiés doivent faire l'objet d'une gestion spécifique détaillée dans le chapitre 4.3.2. De même, les conditions d'acceptation des sources scellées usagées sont très restreintes du fait de leur attractivité présumée en cas de scénario d'intrusion involontaire faisant suite à une perte de mémoire du site.

Le CSA permet le stockage de déchets dits « hors normes dimensionnelles ». Ainsi, des couvercles de cuves ainsi que d'autres équipements ont été stockés sans découpage préalable pour conditionnement en colis standards. Toutefois, contrairement au Cires, l'inventaire prévisionnel de ces déchets et les flux de livraisons au CSA ne justifient pas la réalisation d'ouvrages dédiés ; les ouvrages classiques peuvent être utilisés moyennant des dispositions particulières d'exploitation. Cette possibilité de réception de grands composants est, comme pour le Cires, une option d'optimisation globale de la gestion des déchets, de leur production jusqu'au stockage, notamment pour les opérations de démantèlement.

Fin 2014, environ 292 000 m<sup>3</sup> de colis de déchets étaient stockés au centre de stockage de l'Aube soit environ 29 % de sa capacité réglementaire. Les flux annuels de livraisons (12 à 13 000 m<sup>3</sup>) se situent très en deçà du flux de dimensionnement (30 000 m<sup>3</sup>).

En ce qui concerne la capacité radiologique, le décret d'autorisation de création du centre fixe les limites pour 5 radionucléides ainsi que pour l'activité globale alpha comptabilisée à 300 ans. En complément, des prescriptions édictées par l'ASN précisent les limitations pour 19 autres radionucléides. Ces limitations ont été déterminées à partir des inventaires prévisionnels en vérifiant leur compatibilité avec la démonstration de sûreté de l'installation, dans les scénarios d'évolution normale comme altérée. À ce jour, la consommation de la capacité radiologique du centre est inférieure à sa consommation volumique, à l'exception du <sup>36</sup>Cl (dont la période est de 300 000 ans) puisque l'inventaire stocké correspond à près de 90 % de la capacité autorisée. Cette situation est liée au stockage de cases de chemises de graphite entreposées sur le site de Bugey. Les caractérisations menées sur les déchets graphites détaillées dans le chapitre 4.1 conduisent à se réinterroger sur la quantité de <sup>36</sup>Cl effectivement présente dans les déchets de ce type stockés au CSA.

Le prochain réexamen de sûreté du CSA est prévu en 2016. À cette occasion l'inventaire prévisionnel des déchets à prendre en charge fait l'objet d'une mise à jour sur la base des prévisions de livraisons fournies par les exploitants d'installations nucléaires. Ces données montrent que la saturation de la capacité du centre pourrait intervenir à l'horizon 2060, c'est-à-dire bien au-delà des 30 années d'exploitation du centre ainsi qu'il avait été conçu à l'origine. Les programmes de démantèlement devraient conduire à une augmentation progressive des flux dans les années à venir.

**I1 – Suivi de la capacité volumique du CSA.**

**I2 – Suivi des capacités radiologiques du CSA, par radionucléides.**

Outre les enjeux liés au suivi du remplissage du stockage, les transports de déchets FMA-VC produisent par ailleurs des impacts environnementaux. L'optimisation des transports doit donc être recherchée afin de les limiter.

**R2 – Areva, le CEA, EDF et Socodei doivent remettre avant, le 31 décembre 2017, une étude sur des modalités de transports des déchets FMA-VC, le cas échéant après traitement, permettant d'en réduire les impacts environnementaux.**

## 4 Les filières de gestion à mettre en place : besoins et perspectives

### 4.1 La gestion des déchets FA-VL

Les déchets radioactifs de faible activité à vie longue (FA-VL) doivent faire l'objet d'une gestion spécifique, adaptée à leur longue durée de vie qui ne permet pas leur stockage dans les centres industriels existants de l'Andra dans l'Aube. Ces déchets comprennent notamment des déchets de graphite, issus de l'exploitation et du futur démantèlement des réacteurs EDF de la filière « uranium naturel graphite gaz », des déchets radifères, principalement issus du traitement de minéraux contenant des terres rares, une partie des fûts d'enrobés bitumineux de Marcoule ainsi que certains résidus de traitement de conversion de l'uranium issus de l'usine Comurhex située à Malvési. Dans l'attente de leur stockage, après traitement éventuel, les colis de déchets FA-VL sont entreposés dans des installations sur les sites des producteurs.

L'Andra a fourni un rapport d'étape pour la création d'une installation de stockage pouvant accueillir des déchets de type FA-VL sur le territoire de la communauté de commune de Soulaines. Une zone de 10 km<sup>2</sup> a été retenue au nord de ce territoire pour effectuer des investigations géologiques plus poussées.

**Le PNGMDR 2016-2018 demande la poursuite des investigations géologiques sur le site étudié, l'évaluation de l'inventaire des déchets FA-VL susceptibles d'y être stockés, ainsi que la remise à mi-2019 d'un rapport présentant les options techniques et de sûreté de cette installation de stockage. L'Andra et les producteurs de déchets doivent également poursuivre leurs études sur l'inventaire radiologique, le comportement dans le stockage et les possibilités de traitement de leurs déchets FA-VL.**

**Un schéma industriel global de la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs FA-VL devra par ailleurs être remis avant la fin 2019.**

#### 4.1.1 Contexte et enjeux

L'article 4 de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 prévoit « la mise au point de solutions de stockage pour les déchets graphites et les déchets radifères ». Ces déchets font partie de la catégorie dite de faible activité à vie longue (FA-VL), dont l'inventaire est détaillé dans cette partie.

Les déchets de graphite sont produits essentiellement par la filière électronucléaire (chemises et empilements de graphite issus du premier parc français de réacteurs de type UNGG – uranium naturel – graphite gaz), tandis que les déchets radifères proviennent principalement de l'industrie (incluant notamment des déchets à radioactivité naturelle élevée), d'anciens objets radioactifs (fontaines au radium...) et de certaines sources scellées usagées (paratonnerres, détecteurs d'incendie...). Ils doivent faire l'objet d'une gestion spécifique, adaptée à leur longue durée de vie, laquelle ne permet pas leur stockage dans des installations de stockage comme celles exploitées par l'Andra dans l'Aube. Leur faible radioactivité ne justifie toutefois pas de les stocker en couche géologique profonde.

La mise en service d'au moins une installation de stockage pour les déchets de type FA-VL doit permettre de répondre aux besoins de Solvay, d'EDF, du CEA et d'Areva pour la gestion de leurs sites industriels, notamment en vue de mener les opérations de désentreposage ou de démantèlement nécessaires, ainsi qu'aux besoins de l'Andra pour sa mission de service public d'assainissement de sites historiques ayant abrité il y a plus de 50 ans des activités utilisant du radium ou du thorium.

À la suite des difficultés rencontrées dans le processus initial de sélection des sites pour accueillir un stockage des déchets FA-VL<sup>160</sup>, un nouveau processus a été relancé en 2012 sur la base des recommandations d'un rapport du HCTISN<sup>161</sup>.

L'Andra a remis fin 2012 un rapport d'étape sur les scénarios de gestion à long terme des déchets FA-VL qui concluait à la nécessité de lancer des investigations géologiques pour se prononcer sur la faisabilité d'un stockage à faible profondeur des déchets radifères. La possibilité d'y intégrer des déchets de graphite, des déchets bitumés et autres déchets FA-VL demandait à être analysée sur la base des résultats des investigations géologiques et de travaux de caractérisation de ces déchets.

Sur la période 2013-2015, les principales avancées en matière de gestion des déchets FA-VL ont été les suivantes :

- Les investigations géologiques réalisées sur une zone d'environ 50 km<sup>2</sup> dans le territoire de la Communauté de communes de Soulaines dans l'Aube, à proximité des centres de stockage existants, ont montré la possibilité technique de poursuivre l'étude d'un stockage à faible profondeur sur une zone restreinte de 10 km<sup>2</sup> ;
- Les producteurs ont établi une liste de déchets « candidats » à étudier pour un stockage à faible profondeur sur le site investigué. Ils ont mené des travaux complémentaires de caractérisation afin d'en améliorer la connaissance. Ces travaux ont notamment conduit à une réduction notable de l'inventaire radiologique en <sup>36</sup>Cl et en <sup>129</sup>I des déchets de graphite et des déchets bitumés FA-VL par rapport aux hypothèses antérieures qui étaient conservatives. La connaissance sur ces déchets devra toutefois être consolidée dans les années à venir.
- L'Andra, EDF et le CEA ont initié des travaux de R&D pour évaluer le comportement des déchets en situation de stockage dans des milieux cimentaires et argileux. Ces travaux ont contribué aux choix de conception notamment en termes de recommandations de matériaux à introduire dans le stockage, de définition des composants ouvragés, d'exigences sur les architectures des alvéoles de stockage. Ils doivent se poursuivre.
- L'Andra a étudié des options de stockage fondées sur des techniques de creusement éprouvées industriellement pour la réalisation d'ouvrages à faible profondeur. Ces études ont permis de disposer de premières représentations des architectures et des emprises des zones de stockage.
- Les évaluations phénoménologiques et de sûreté préliminaires réalisées dans le cadre du rapport d'étape 2015 de l'Andra montrent que le site de la Communauté de communes de Soulaines présente des caractéristiques favorables à l'accueil de déchets FA-VL examinés dans le rapport d'étape. Néanmoins, ce site ne pourra pas prendre en charge la totalité des déchets FA-VL qui représente un périmètre plus large que celui sur lequel se fonde le rapport d'étape 2015.

---

<sup>160</sup> Un historique détaillé est donné dans l'édition 2013-2015 du PNGMDR.

<sup>161</sup> Rapport du 7 octobre 2011, disponible sur le site internet du HCTISN : <http://www.hctisn.fr/>.

## 4.1.2 La caractérisation des déchets FAVL

### 4.1.2.1 Les déchets radifères

Les déchets radifères contiennent des radioéléments des trois chaînes naturelles 4N ( $^{232}\text{Th}$  et ses descendants), 4N+2 ( $^{238}\text{U}$  et ses descendants), et 4N+3 ( $^{235}\text{U}$  et ses descendants) avec une prédominance des chaînes 4N et 4N+2. L'activité massique moyenne des déchets est de l'ordre de 20 becquerels par gramme (Bq/g) en  $^{238}\text{U}$  ainsi qu'en  $^{232}\text{Th}$  et de l'ordre de 60 Bq/g en  $^{226}\text{Ra}$  (entre quelques Bq/g et quelques centaines de Bq/g selon les déchets).

À ce jour, l'inventaire des déchets radifères comprend :

- les déchets historiques provenant de l'extraction des terres rares à partir d'un minerai de monazite : résidus radifères (RRA) et résidus solides banalisés (RSB) de Solvay ;
- les résidus de traitement de l'hydroxyde brut de thorium, qui seront produits ultérieurement si la valorisation du thorium, de l'uranium et des terres rares est mise en œuvre par Solvay ;
- les déchets provenant de la fabrication d'éponge de zirconium, de sels de zirconium et d'hafnium, à partir d'un minerai de zircon et de zircone fondue depuis 2012 (usine Cézus à Jarrie appartenant au groupe AREVA) ;
- une partie des déchets de la dépositaire d'Itteville (ancien bassin de décantation et aire de stockage, annexe de l'usine du Bouchet), constitués de stériles et d'hydroxydes (CEA) ;
- les déchets issus des opérations d'assainissement de sites pollués au radium, uranium et thorium, gérés par l'Andra au titre de sa mission de service public.

### 4.1.2.2 Les déchets de graphite.

Les déchets de graphite produits et détenus par EDF et le CEA représentent environ **21 700 tonnes avant conditionnement**. Ils peuvent être distingués selon leur origine au sein des réacteurs : empilements en graphite et protections biologiques d'une part, chemises de cartouches de combustibles nucléaire d'autre part.

Les déchets produits et détenus par Areva qui les entrepose sur le site de La Hague dans des silos représentent un peu moins de 1 100 tonnes et proviennent du traitement des combustibles UNGG entre 1966 et 1990. Ils se caractérisent par la présence essentiellement de graphite (chemises) en mélange avec du magnésium (gaines, bouchons, centreurs), de l'acier inoxydable (fils de selle) et des résidus d'uranium.

EDF, le CEA et l'Andra ont mis en place des programmes d'études et de recherches pour préciser le contenu radiologique des déchets de graphite et évaluer leur comportement en stockage. Une attention particulière a été portée à l'inventaire en  $^{36}\text{Cl}$  et en  $^{14}\text{C}$ , qui constituent les principaux contributeurs à l'impact radiologique à long terme.

Les travaux de caractérisation menés jusqu'au début de l'année 2015 par le CEA et EDF<sup>162</sup> sur leur déchets de graphite ont ainsi conduit à une réduction notable de l'inventaire radiologique en <sup>36</sup>Cl, par rapport aux hypothèses conservatives antérieures retenues pour les études de stockage. L'inventaire radiologique estimé en <sup>36</sup>Cl (essentiellement constitué par les déchets CEA et EDF précités) dorénavant en vigueur est ainsi de l'ordre de 2 TBq, ce qui constitue toujours une valeur conservative.

#### 4.1.2.3 Les déchets bitumineux

Le CEA poursuit le programme de caractérisation radiochimique des anciens colis d'enrobés de boues bitumées de type FA-VL, entamé au début des années 2000. Ces fûts d'enrobés de boues bitumées ont été produits à partir de 1966 à la STEL-Station de Traitement des Effluents radioactifs Liquide, de Marcoule. L'inventaire FA-VL concerné est de 32 901 fûts de boues bitumées, ce qui correspond à un volume total de colis de boues bitumées reconditionnés en surfûts inox égal à 12 503 m<sup>3</sup>.

L'amélioration de la connaissance des inventaires radiochimiques des anciens colis de boues bitumées est réalisée dans le cadre des opérations de reprise de colis de déchets anciens conditionnés. Ces opérations de reprise consistent à placer dans des surfûts en inox les colis, pour ré-entreposage dans de nouvelles installations nucléaires appelés EIP-Entreposage Intermédiaire Polyvalent. L'étude des caractéristiques radiochimiques et physico-chimiques s'articule ainsi autour de l'analyse d'échantillons prélevés sur une fraction des fûts de boues bitumées (jusqu'à environ 5 % de l'inventaire) relevant des différentes périodes de fabrication, en association avec une mesure nucléaire par spectrométrie gamma de chaque fût repris. Les mesures nucléaires et analyses radiochimiques se corrént également avec les activités radiologiques déduites des informations relatives à l'effluent réceptionné à la STEL pour traitement/conditionnement.

Une synthèse des travaux de caractérisation de la variabilité physico-chimique de ces colis de boues bitumées a été remise par le CEA au titre du décret PNGMDR 2013-2015<sup>163</sup>. Cinq familles physico-chimiques y ont été définies systématiquement par un domaine de variabilité des teneurs en composés chimiques. Des bornes de composition minimales et maximales (% massiques) sont définies pour environ 15 à 20 constituants chimiques caractérisant les enrobés de boues bitumées.

#### 4.1.2.4 Les déchets de l'usine AREVA NC de Malvési relevant d'une filière de gestion FA-VL

Ces déchets sont décrits en détail dans le chapitre 4.3 (paragraphe 4.3.5).

---

<sup>162</sup> État des connaissances sur le contenu radiologique des déchets de graphite du CEA et d'EDF relevant du stockage en subsurface FA-VL. Focus particulier sur le chlore 36. Ce rapport remis au titre du PNGMDR 2013-2015 est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

<sup>163</sup> État d'avancement de la caractérisation des déchets MAVL produits avant 2015 - Programmes d'étude du conditionnement des déchets (Rapport CEA remis au titre du PNGMDR 2013-2015 également disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie aux adresses précitées).

### 4.1.3 Le conditionnement et les options de traitement

#### 4.1.3.1 Conditionnement des déchets de graphite

Pour le conditionnement de ses déchets de graphite, EDF a développé en concertation avec l'Andra un nouveau conteneur en béton armé. Les déchets seraient mis dans un panier métallique placé ensuite dans un conteneur en béton. Un coulis de blocage viendrait remplir l'intérieur avant sa fermeture par un bouchon également en béton. Le CEA prévoit l'utilisation du même conditionnement pour ses déchets de graphite. Le conditionnement des déchets de graphite d'EDF et du CEA conduira à un volume à stocker de l'ordre de 80 000 m<sup>3</sup>.

Dans le cadre du démantèlement des réacteurs UNGG d'EDF, deux options sont étudiées par EDF pour l'injection des colis de graphite :

- une installation sur chaque site, dans ce cas, la masse du colis doit respecter le critère lié à la masse pour le transport. Cela entraînera un nombre de colis produits plus important ;
- une installation centralisée qui permettrait de mutualiser les moyens d'injection des colis de graphite sur un seul et même site, au plus près du stockage définitif qui permettrait de découpler les opérations de démantèlement et de conditionnement des déchets de graphite.

Le scénario initial de reprise des déchets graphite/gaine de magnésium des silos de la Hague vise à reprendre les déchets par grappin et à les placer dans des emballages intermédiaires afin d'être bloqués au moyen d'un coulis cimentaire. Ces emballages intermédiaires de déchets bloqués seraient ensuite placés dans un colis. Cependant, le scénario de conditionnement n'est pas encore figé.

#### 4.1.3.2 Le traitement des déchets de graphite

##### - *Contexte*

Des solutions de gestion basées sur un traitement des déchets de graphite concernaient deux des trois scénarios de gestion des déchets de graphite alternatifs au stockage sous couverture intacte (SCI) qui ont été évalués par l'Andra dans son rapport remis à l'État<sup>164</sup> fin 2012 :

- tri des déchets pour un stockage des empilements en stockage sous couverture remaniée (SCR) et des chemises dans le centre de stockage en projet Cigéo ;
- extraction de radionucléides (<sup>36</sup>Cl, <sup>14</sup>C, <sup>3</sup>H, ...) avec stockage du graphite partiellement décontaminé en SCR et des résidus concentrés dans le centre de stockage en projet Cigéo ;
- destruction totale (par gazéification) du graphite après décontamination avec stockage des résidus de traitement dans le centre de stockage en projet Cigéo.

---

<sup>164</sup> Ce rapport « Étude des scénarios de gestion à long terme des déchets de faible activité massique à vie longue » du 21 décembre 2012 est disponible sur le site internet de l'Andra : <http://www.andra.fr>.

- *Principe du traitement*

Le traitement étudié consiste à porter le graphite, préalablement broyé, à haute température (de l'ordre de 1000°C) dans un four balayé par un mélange gazeux avec pour objectif une extraction des radionucléides volatils ou partiellement volatils ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^3\text{H}$ ...). Les radionucléides entraînés par le flux gazeux sont captés et stabilisés pour conditionnement et stockage ultérieur dans une installation adaptée.

Au cours du traitement, les conditions opératoires sont contrôlées pour limiter la destruction de la matrice graphite et favoriser une décontamination sélective du  $^{14}\text{C}$  vis-à-vis du  $^{12}\text{C}$  stable, constituant très largement majoritaire des graphites nucléaires<sup>165</sup>. Le traitement des gaz issus de l'opération de décontamination génère des déchets induits dont la quantité est partiellement proportionnelle à la quantité de carbone stable gazéifié. Il est donc indispensable, pour éviter leur foisonnement, de maximiser la sélectivité de l'extraction du  $^{14}\text{C}$ .

En cohérence avec les scénarios de gestions alternatifs identifiés en 2012, l'objectif est de pouvoir mettre en œuvre la gazéification totale du graphite à l'issue de cette première étape de traitement thermochimique. Cette solution n'est envisageable que dans la mesure où les rejets atmosphériques de graphite gazéifié seraient acceptables, ce qui suppose de bonnes performances de décontamination.

- *Travaux engagés – Résultats obtenus*

Des travaux de R&D ont été engagés autour de trois principaux axes :

- la recherche en laboratoire, sur des échantillons de graphite irradiés, des conditions opératoires optimales permettant de maximiser les performances de l'étape de décontamination en produit d'activation à vie longue et la compréhension des mécanismes mis en jeu ;
- la démonstration de la faisabilité industrielle du traitement, via la réalisation par EDF d'études de niveau « avant-projet sommaire » d'un prototype de traitement semi-industriel ;
- l'acceptabilité en stockage des déchets induits par le traitement sur la base d'échanges entre EDF et l'Andra.

En l'état des travaux en 2015, la faisabilité d'une décontamination partielle des graphites, notamment en  $^{14}\text{C}$ , est démontrée en laboratoire.

- *Perspectives*

EDF, en collaboration avec le CEA et l'Andra, n'abandonne pas à ce stade la possibilité d'élaborer puis de mettre en œuvre une solution basée sur traitement thermochimique de décontamination des graphites irradiés<sup>166</sup> préalablement à leur stockage. Ainsi, un programme de recherche et de veille se poursuit, notamment au travers de l'étude de l'influence du traitement

---

<sup>165</sup> Le ratio isotopique  $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$  dans les déchets de graphite est de l'ordre de  $10^{-7}$ .

<sup>166</sup> Les déchets de graphite et de magnésium d'Areva, provenant du traitement des combustibles UNGG et entreposés dans les silos 115 et 130 sur le site de la Hague, ne sont pas candidats à un éventuel traitement, dans la mesure où des opérations de tri en amont ne pourraient garantir l'absence de substances incompatibles avec le procédé de traitement.

thermique sur la spéciation et le relâchement des radionucléides. Des résultats permettant de statuer sur l'intérêt de mettre en œuvre une telle solution sont attendus à l'horizon 2017.

#### **4.1.4 L'entreposage**

##### **4.1.4.1 Déchets radifères**

Les résidus radifères, conditionnés dans environ 26 000 fûts de 220 litres, sont entreposés dans les ICPE 420 et 465 sur le site CEA de Cadarache, pour le compte de leur propriétaire Solvay. Les résidus solides banalisés sont entreposés sur le site Solvay de la Rochelle. Ces déchets sont disposés en vrac sur une aire étanche sous bâche. Ils représentent une masse de 8 400 t.

Les déchets d'Areva sont entreposés sur le site de Jarrie, dans un bâtiment dédié. La masse de résidus de carbochloration à fin 2013 était évaluée à 2 020 t, celle des résidus de sublimation à 715 t, conduisant à 2 075 t de déchets avant stabilisation. À l'échéance 2032, la quantité de déchets qui seront produits est estimée à environ 3 700 t après stabilisation. Depuis 2005, les déchets non stabilisés sont conditionnés dans des fûts en acier renforcé de 220 L. Le bâtiment d'entreposage à Jarrie a une surface de 6 000 m<sup>2</sup> et une capacité réglementaire de 4 500 t. Sur la base du flux de production actuel, ceci lui confère une capacité d'entreposage jusqu'en 2032.

Les déchets de la déposante d'Itteville du CEA sont entreposés sous une couverture d'argile sur un site annexe à celui de l'ancienne usine du Bouchet. La masse totale des déchets entreposés est de 40 000 t, dont 28 000 t relèveraient de la catégorie TFA et 12 000 t de la catégorie FA-VL.

D'autres déchets de type FA-VL provenant de filières hors industrie électronucléaire sont entreposés par l'Andra dans son nouveau bâtiment d'entreposage des déchets de type FA-VL autorisé par arrêté du 9 février 2012, situé sur le site du centre de stockage du Cires. Cette installation dispose d'une capacité d'entreposage de 6 000 m<sup>3</sup>. À fin 2014, le volume entreposé était de 690 m<sup>3</sup>. Le volume total des déchets à entreposer présente des incertitudes dues au nombre de sites pollués à assainir et au niveau d'assainissement requis.

Le besoin futur en capacités d'entreposage pour les déchets radifères est lié à la date de mise à disposition d'une solution de stockage pour ces déchets.

##### **4.1.4.2 Déchets de graphite**

Les déchets de graphite représentent une masse d'environ 23 000 t. La plus grande partie sera produite lors de la déconstruction des anciens réacteurs UNGG.

Les chemises graphite du réacteur Saint-Laurent A (EDF) sont entreposées sur site dans des silos semi-enterrés. Elles représentent une masse d'environ 2 000 t.

Les chemises graphite des réacteurs Chinon A2 et A3 sont entreposées sur le site CEA de Marcoule dans les fosses de l'installation MAR 400 et de l'installation de dégainage. Elles constituent une masse d'environ 750 t. La reprise et le conditionnement de ces déchets sont

prévus dans le cadre du programme d'assainissement et de démantèlement de Marcoule d'ici 2035.

Les déchets de graphite et de magnésium d'Areva proviennent du traitement des combustibles UNGG. Ils représentent une masse d'environ 1 100 t et sont entreposés dans les silos 115 et 130 de la Hague. Dans le cadre du programme de reprise des déchets entreposés dans ces silos, il est prévu un conditionnement dans des colis spécifiques en vue de leur entreposage sur le site de La Hague dans un bâtiment dédié à cet effet, dans l'attente de l'ouverture d'une filière de stockage.

Le besoin futur en capacité d'entreposage des déchets de graphite déjà produits et de ceux qui seront produits par les opérations de démantèlement est lié :

- à la date de mise à disposition d'une solution de stockage par l'Andra pour ces déchets, ainsi qu'à ses capacités annuelles d'accueil ;
- au calendrier de démantèlement des réacteurs UNGG d'EDF et du CEA ;
- aux exigences de sûreté sur les installations existantes.

Les déchets de graphite qui seront générés par les opérations de démantèlement des réacteurs G1, G2, G3 de Marcoule sont d'environ 3 800 t. Le planning actuel du CEA prévoit que leur reprise démarre à partir de 2030 (dans l'attente de la disponibilité d'un centre de stockage FA-VL, afin d'évacuer en ligne les colis de déchets).

Les quantités de déchets de graphite qui seront produites par les opérations de démantèlement des réacteurs UNGG d'EDF représentent 15 000 t d'empilements actuellement entreposés dans les caissons réacteurs auxquelles s'ajoutent les 2 000 t de chemises entreposées dans les silos de Saint Laurent A.

EDF a fait le choix, aujourd'hui, de n'enclencher la réalisation des opérations de déconstruction du cœur de ses réacteurs de la filière UNGG définitivement arrêtés qu'après la mise en service par l'Andra d'une installation de stockage des déchets de type FA-VL afin de permettre l'envoi en ligne des déchets de graphites qui seraient ainsi produits. Ainsi, la sortie des premiers graphites lors du démantèlement du caisson de BUG1, tête de série du programme UNGG, est prévue par EDF à partir de 2025.

#### **4.1.4.3 Fûts d'enrobés bitumineux de type FA-VL**

Les fûts d'enrobés bitumineux (qui relèvent des catégories FA-VL ou MA-VL) sont actuellement entreposés dans les casemates de la STEL à Marcoule, construites entre 1966 et 1994, et, pour partie, dans des alvéoles de types Entreposages Intermédiaires Polyvalents (EIP). La totalité des casemates doit être progressivement reprise. Dans ce cadre, une partie de ces fûts a déjà été extraite et reconditionnée en surfûts inox pour un entreposage dans l'EIP (entreposage intermédiaire polyvalent mis en service en 2000), le CEA s'étant engagé auprès de l'autorité de sûreté nucléaire défense (ASND) à reprendre 32 500 fûts avant 2027. L'ensemble des 60 000 fûts devrait être repris d'ici fin 2035, selon les conditions de disponibilité et de prise en charge par les exutoires finaux. La stratégie d'entreposage sur le site de Marcoule repose également sur la possibilité d'évacuation, dès 2025, des fûts de bitumes FA-VL vers le stockage de sub-surface.

#### 4.1.4.4 Les déchets des bassins de décantation de l'usine Areva NC de Malvési

Le cas des déchets historiques entreposés sur le site Areva NC de Malvési est traité dans le chapitre 4.3.

Les déchets dits « à produire », c'est-à-dire produits à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2019, par l'ICPE dans le cadre du projet de modernisation des installations seront entreposés à l'emplacement des actuels bassins de décantation B5 et B6. Dans son étude, Areva NC prévoit, à court terme, l'aménagement d'alvéoles ou casiers d'entreposage à l'emplacement de ces deux bassins de décantation. Pour la gestion à long terme de ces déchets, Areva a présenté une solution de gestion à long terme commune avec les déchets déjà produits : le stockage sur site, selon plusieurs concepts de stockage. L'ASN a indiqué dans son avis n° 2012-AV-0166 du 4 octobre 2012 qu'il convient de distinguer la gestion des déchets « déjà produits » de celle des déchets qui restaient alors « à produire » et que ces derniers doivent faire l'objet d'une gestion dans les filières appropriées répondant aux exigences en vigueur pour la gestion des déchets radioactifs.

#### 4.1.4.5 Les déchets technologiques produits par les usines de La Hague

Selon Areva, une partie des déchets technologiques conditionnés en conteneurs béton-fibres cylindriques appelés colis CBF-C2 sont « candidats » au stockage à faible profondeur. En effet, ces colis de déchets technologiques étaient jusqu'à présent orientés, selon leur activité, vers un stockage de surface ou vers Cigéo. Dans la mesure où ces colis présentent un continuum en termes de composition et d'activités, un tri pourrait permettre d'en orienter une partie vers une catégorie FA-VL, qui ont donc été pris en compte dans l'inventaire étudié dans le cadre du rapport d'étape.

### 4.1.5 Recommandations et perspectives

Les évaluations phénoménologiques et de sûreté préliminaires réalisées dans le cadre du rapport d'étape 2015 montrent que le site de la Communauté de communes de Soulaines présente des caractéristiques favorables à l'accueil de familles de déchets FA-VL considérées dans le rapport d'étape.

Néanmoins, l'Autorité de sûreté nucléaire estime dans son avis du 29 mars 2016<sup>167</sup> qu'il est « *peu probable que tout l'inventaire envisagé dans le rapport d'étape puisse être stocké sur le site investigué par l'Andra* ». En outre, les études conduites par Areva font apparaître qu'une partie des déchets du site de Malvési qui seront produits à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2019 relèvent d'une filière de gestion à faible profondeur, à savoir la filière FA-VL. Ces derniers déchets ne sont pas pris en compte dans l'inventaire étudié dans le rapport d'étape de l'Andra.

Puisque le site investigué par l'Andra ne peut pas prendre en charge la totalité de ces déchets, il convient de définir une feuille de route permettant de disposer d'une stratégie de gestion pour la totalité des déchets FA-VL, y compris ceux produits à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2019 sur le site de Malvési relevant d'une filière de gestion FA-VL. Cette stratégie de gestion doit être adaptée à

---

<sup>167</sup> L'avis n° 2016-AV-0264 de l'ASN du 29 mars 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

l'hétérogénéité et à la dangerosité de ces déchets, proportionnée aux enjeux de sûreté, techniques et économiques et envisagée selon un calendrier réaliste. Elle devra se fonder sur un schéma industriel combinant :

- le site investigué sur la Communauté de communes de Soulaines,
- un autre site à rechercher, pour les déchets qui ne pourront pas être stockés dans le site de Soulaines et dans une optique d'optimisation globale des impacts,
- la poursuite des études sur la caractérisation des déchets (notamment l'inventaire radiologique),
- des études sur les procédés de tri ou traitement en amont du stockage en lien avec les conditions d'acceptabilité des sites,
- la prise en compte, à titre conservatoire, de certains déchets dans les réserves ou l'inventaire de référence de Cigéo, dans la continuité des préconisations du PNGMDR précédent.

Cette stratégie d'ensemble doit être élaborée de manière séquencée par l'ensemble des parties prenantes de la filière. À cette fin :

- l'Andra poursuit ses investigations sur le site de la Communauté de communes de Soulaines et présente, avant mi-2019, des options techniques et de sûreté de niveau esquisse d'un stockage à faible profondeur, en précisant l'inventaire de déchets qu'elle envisage d'y stocker. Cet inventaire pourrait être une sous-partie de l'inventaire considéré dans le rapport d'étape de 2015 ;
- l'Andra et les producteurs de déchets élaborent avant fin 2019 un schéma industriel global.

Parallèlement à ces travaux, l'ASN a prévu de travailler à la mise à jour de son guide de sûreté relatif au stockage à faible profondeur des déchets FA-VL.

Ces objectifs sont déclinés dans les recommandations suivantes :

### **1) Site de la Communauté de communes de Soulaines**

**R1 – L'Andra poursuit ses investigations géologiques sur le site de la communauté de communes de Soulaines et remet avant le 30 juin 2019 les options techniques et de sûreté (correspondant à un stade esquisse) d'une installation de stockage à faible profondeur. L'Andra remet par ailleurs, avant le 30 juin 2018, un rapport intermédiaire définissant, en lien avec les études de conception, les exigences de sûreté applicables au stockage.**

Dans le rapport attendu avant le 30 juin 2019, l'Andra :

- précise l'inventaire susceptible d'être stocké dans cette installation ;
- établit la liste des exigences essentielles relatives au conditionnement des déchets destinés à ce stockage pour assurer la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement, pendant l'exploitation de l'installation et pendant la phase de surveillance ;
- présente une évaluation de sûreté permettant d'apprécier le degré de protection que l'installation de stockage est capable de procurer contre les risques d'intrusion et la dissémination de substances radioactives et chimiques, notamment dans l'aquifère sous-jacent, et la robustesse de la démonstration de sûreté. Ces éléments seront notamment

établis sur la base de l'arrêté du 7 février 2012 et des recommandations de l'ASN dans l'avis du 29 mars 2016 ;

- réalise une estimation prévisionnelle du coût à terminaison du stockage de ces déchets.

**R2 – L'Andra transmet un dossier d'options de sûreté (correspondant à un stade d'avant-projet sommaire) avant le 31 décembre 2021. Pour le 31 mars 2017, l'Andra propose une date de mise en service objective prudente du stockage.**

**R3 – EDF et le CEA remettent avant le 31 décembre 2017 un rapport d'étape sur les études relatives aux possibilités de traitement-décontamination des déchets de graphite. En fonction des résultats de ce rapport d'étape et sous réserve que le traitement des déchets de graphite soit nécessaire pour leur acceptation en stockage, EDF et le CEA remettent avant le 31 décembre 2019 un dossier présentant les options techniques et de sûreté (correspondant à un stade d'avant-projet sommaire) d'une installation de traitement des déchets de graphite.**

**R4 – Le CEA et EDF doivent poursuivre et finaliser leurs études pour fiabiliser l'inventaire radiologique des déchets de graphite :**

- Afin de conforter la méthode inverse d'évaluation de l'inventaire, EDF et le CEA doivent confirmer par des campagnes complémentaires de mesures le caractère conservatif de l'inventaire total en  $^{36}\text{Cl}$  actuellement présenté. EDF doit achever ses mesures et remettre une étude présentant ses résultats et conclusions avant le 30 juin 2019. En particulier, EDF doit préciser le contenu radiologique en  $^{36}\text{Cl}$  de l'ensemble de ses déchets de graphite dont une large partie est portée par les chemises de Saint-Laurent A1 et A2. Le CEA doit achever ses mesures avant le 31 décembre 2021 et remettre une étude présentant ses résultats et conclusions intermédiaires avant le 30 juin 2019 ;
- Le CEA, EDF et l'Andra doivent progresser dans la connaissance du comportement du  $^{14}\text{C}$  contenu dans les déchets de graphite placés en conditions de stockage, notamment sa spéciation et la nature des molécules organiques correspondant ainsi que leur cinétique de relâchement.

Les premiers résultats de ces études devront être disponibles pour alimenter l'élaboration du dossier d'esquisse de l'Andra prévu en 2019.

## **2) Schéma industriel global**

**R5 – L'Andra, en lien avec les producteurs de déchets, remet, avant le 31 décembre 2019, un schéma industriel global de la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs de faible activité vie longue prenant en compte les demandes suivantes :**

- un inventaire incluant notamment les déchets de graphite, les bitumes FA-VL, les déchets radifères ainsi que la fraction des déchets produits à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2019 de l'usine AREVA NC de Malvési devant relever d'une filière de gestion FA-VL ;
- la poursuite des investigations sur le site de la Communauté de communes de Soulaines pour la mise en place d'une installation de stockage. L'inventaire des déchets susceptibles d'être stockés sur ce site devra être précisé et justifié ;

- la recherche d'un deuxième site de stockage en faible profondeur, en priorité sur les sites des INB et INBS existantes ou à leur proximité ;
- la prise en compte de certains déchets FA-VL dans l'inventaire de référence et les réserves de l'inventaire de Cigéo.

### 3) Recherche d'un nouveau site de stockage

**R6 – L'Andra présente, avant le 30 juin 2018, la méthodologie de recherche d'un 2<sup>ème</sup> centre de stockage FA-VL en accord avec les recommandations du HCTISN du 7 octobre 2011, en priorisant la recherche sur les sites des INB et INBS existantes ou à leur proximité, ainsi que l'inventaire associé.**

### 4) Mesures conservatoires

**R7 – A titre conservatoire et en cohérence avec les études de conception en cours du projet Cigéo :**

- les déchets suivants restent pris en compte dans les réserves de l'inventaire de Cigéo (cf. recommandation R27 du chapitre HA-MAVL) : les déchets de graphite (chemises), les déchets d'enrobés bitumineux FA-VL (non traités) et les déchets UNGG de La Hague ;
- les déchets suivants restent pris en compte dans l'inventaire de référence de Cigéo : les déchets CBF-C'2.

**R8 – Sur la base du schéma industriel de gestion des déchets FA-VL, les producteurs et détenteurs de déchets FA-VL définissent et transmettent aux ministres chargés de l'énergie et de la défense et à l'Autorité de sûreté nucléaire avant le 31 décembre 2017 :**

- les capacités d'entreposage existantes en précisant leur disponibilité ;
- les prévisions de saturation ou de fin de fonctionnement de ces capacités et les besoins de nouvelles capacités pour les 30 prochaines années prenant en compte les opérations de démantèlement des INB arrêtées qui se déroulent conformément aux dispositions de l'article L. 593-25 du code de l'environnement ;
- les délais nécessaires pour mettre en service de nouvelles capacités d'entreposage.

Le calendrier de mise à disposition d'une filière de gestion des déchets FA-VL, retardé par rapport aux prévisions initiales, impose la reprise de certains entreposages de déchets anciens. C'est le cas notamment des silos de Saint-Laurent des Eaux.

**R9 – EDF transmet au ministre chargé de la sûreté nucléaire et à l'ASN avant le 31 décembre 2019 les options techniques et de sûreté (du niveau avant-projet sommaire) d'une installation d'entreposage de déchets graphite pour les déchets entreposés dans les silos de Saint-Laurent-des-Eaux et, le cas échéant, pour ceux issus du démantèlement du réacteur qui sera la tête de série du démantèlement des réacteurs UNGG si le calendrier de production de ces déchets n'est pas compatible avec le calendrier de mise en service et d'accueil du 1<sup>er</sup> centre de stockage FA-VL.**

## 4.2 La gestion des déchets HA et MA-VL

La gestion des déchets HA-MAVL est étudiée selon les trois axes complémentaires identifiés dans la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs désormais codifiée dans le code de l'environnement : le stockage réversible en couche géologique profonde, l'entreposage et la séparation et la transmutation des radionucléides à vie longue. En complément, des recherches sont menées sur le traitement et le conditionnement des déchets.

Le code de l'environnement retient le stockage géologique profond comme solution pour la gestion à long terme des déchets radioactifs ultimes qui ne peuvent être stockés en surface ou à faible profondeur pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection. Les installations souterraines du centre de stockage en projet appelé « Cigéo » (Centre industriel de stockage géologique) seraient situées au sein d'une couche d'argile, à une profondeur de l'ordre de 500 m. Les recherches menées dans laboratoire souterrain de Meuse/Haute Marne par l'Andra ont permis d'acquies sur le site de Bure des résultats majeurs relatifs à la faisabilité et à la sûreté d'un stockage. **À la suite du débat public sur « le projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne » qui s'est tenu en 2013, l'Andra a apporté plusieurs ajustements au projet, incluant notamment le dépôt d'un dossier d'options de sûreté en 2016 et l'intégration d'une phase industrielle pilote au démarrage de l'installation. La définition de la notion de réversibilité a par ailleurs été précisée par le Parlement par la loi du 25 juillet 2016. La réception des premiers colis de déchets radioactifs est désormais prévue à l'horizon 2030.**

L'entreposage permet d'assurer une gestion sûre des déchets HA-MAVL dans l'attente de la mise en œuvre d'une solution de gestion à long terme. Les colis de déchets sont entreposés dans des installations sur les sites des producteurs. **L'analyse des besoins en entreposage de colis de déchets HA et MA-VL devra être complétée par Areva, le CEA et EDF, en lien avec l'Andra en prenant des marges temporelles significatives, et en tenant compte de l'ordonnancement des expéditions vers le centre de stockage en projet Cigéo et du principe de réversibilité.**

Les études menées sur la séparation transmutation, coordonnées par le CEA, visent à évaluer la faisabilité industrielle des filières permettant de séparer les actinides mineurs des déchets ultimes. Si les études menées montrent que la séparation transmutation peut être considérée comme une voie d'amélioration potentielle de gestion des déchets, elle présente néanmoins un certain nombre d'inconvénients tant dans la sûreté nucléaire que dans la radioprotection (difficultés pour les opérations du cycle, etc.). Par ailleurs, elle ne supprime pas la nécessité d'un stockage géologique.

### 4.2.1 Contexte et enjeux

#### Les trois axes d'études et de recherches

La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs dispose que la gestion des déchets radioactifs de haute activité (déchets HA) ou de moyenne activité à vie longue (déchets MA-VL) fait l'objet de trois axes complémentaires de recherches et études :

- la séparation et la transmutation des radionucléides à vie longue, en relation avec celles menées sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires, ainsi que sur les réacteurs pilotés par accélérateur dédiés à la transmutation des déchets, afin de disposer, en 2012, d'une évaluation des perspectives industrielles de ces filières et de mettre en exploitation un prototype d'installation avant le 31 décembre 2020 ;
- le stockage réversible en couche géologique profonde, avec l'objectif de choisir un site et de concevoir un centre de stockage qui serait mis en service en 2025 sous réserve des autorisations administratives correspondantes ;
- l'entreposage<sup>168</sup>, avec l'objectif de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes pour répondre aux besoins recensés par le PNGMDR.

Le premier axe de recherche, piloté par le CEA, s'adresse aux déchets qui seraient générés par de futurs parcs électronucléaires ainsi qu'à certains types de combustibles usés non traités dans les installations existantes. Les deux autres axes de recherche, pilotés par l'Andra, concernent les déchets MA-VL et HA déjà produits (ce qui représente à fin 2013, 44 000 m<sup>3</sup> de déchets MA-VL et 3 200 m<sup>3</sup> de déchets HA, soit environ 60 % des déchets MA-VL et 30 % des déchets HA selon les données de l'édition 2015 de l'Inventaire national) ou restant à produire par les installations actuelles, celles en construction qui ont obtenu leur décret d'autorisation de création au 31 décembre 2012, en considérant une durée moyenne de fonctionnement de 50 ans.

Le code de l'environnement retient le stockage en couche géologique profonde comme solution de référence pour la gestion à long terme des déchets radioactifs ultimes qui ne peuvent être stockés en surface ou à faible profondeur pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection, l'entreposage étant utilisé pour apporter toute la flexibilité nécessaire et mettre en œuvre de façon progressive et contrôlée cette solution. L'article L. 542-1-2 du code de l'environnement prévoit en effet que : *« après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde »*. La directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 rappelle également que *« l'entreposage de déchets radioactifs, y compris de long terme, n'est qu'une solution provisoire qui ne saurait constituer une alternative au stockage »* et qu'*« il est communément admis que sur le plan technique, le stockage en couche géologique profonde constitue, actuellement, la solution la plus sûre et la plus durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité et du combustible usé considéré comme déchet »*.

Ainsi, au sens de la loi, l'entreposage ne vise pas à constituer une voie alternative à celle du stockage en couche géologique profonde mais est étudié dans une optique de complémentarité avec ce stockage réversible. Il doit, en tout état de cause, permettre de garantir la sûreté de la gestion des déchets HA et MA-VL dans l'attente de la mise en service d'une installation de stockage en couche géologique profonde et, en cas d'impossibilité d'apporter la démonstration de sûreté nucléaire d'une telle installation ou si la décision de créer une telle installation n'est pas prise, l'entreposage devrait alors permettre d'attendre la mise en place d'une nouvelle solution de gestion définitive.

---

<sup>168</sup> L'entreposage est défini à l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement comme *« l'opération consistant à placer [les déchets radioactifs] à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, avec intention de les récupérer ultérieurement »*.

En France, ce choix du stockage en couche géologique profonde comme solution de référence a été effectué par le Parlement à l'issue de 15 années de recherches menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs. En effet, ces recherches avaient permis de conclure que :

- la faisabilité technologique de la séparation et de la transmutation n'était pas acquise et que même en cas de mise en œuvre de cette solution, l'élimination des déchets radioactifs HA et MA-VL ne serait pas totale ;
- l'entreposage de longue durée ne pouvait pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue car elle suppose le maintien d'un contrôle de la part de la société et la reprise des déchets par les générations futures, ce qui semble difficile à garantir sur des périodes de plusieurs centaines d'années ;
- des éléments majeurs relatifs à la faisabilité d'un stockage en couche géologique indiquaient la forte probabilité de pouvoir démontrer la sûreté d'une installation de stockage dans l'argile étudiée aux moyens du laboratoire de Meuse/Haute-Marne.

Ainsi, le stockage en formation géologique profonde était apparu comme une solution de gestion définitive incontournable.

### Les déchets HA et MA-VL

Les déchets HA sont constitués essentiellement des produits de fission et actinides mineurs séparés de l'uranium et du plutonium lors du traitement des combustibles usés. Le plutonium et l'uranium de retraitement constituent des matières réutilisables dans les réacteurs à eau pressurisée (de deuxième et troisième générations) puis, à plus long terme, dans des réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération, technologie qui pourrait être déployée au plus tôt à partir du milieu du siècle (cf. § 2.3).

À titre conservatoire, les combustibles usés ont été systématiquement inclus par l'Andra dans les études de faisabilité des concepts de stockage géologique. En 2005, l'Andra a ainsi acquis des éléments majeurs relatifs à la faisabilité technique du stockage direct des combustibles usés dans Cigéo. Les études menées depuis lors par l'Andra ont donné lieu à des rapports d'étape. Le premier en 2012 et un second attendu en 2016, ayant vocation à vérifier que les évolutions du projet intervenues depuis 2005 ne remettaient pas en cause ce constat.

Les déchets MA-VL sont pour une grande partie issus du cycle du combustible nucléaire (structures métalliques des combustibles usés, déchets d'exploitation et effluents solidifiés des usines de traitement de combustibles usés et de fabrication de combustibles MOx). Les déchets d'exploitation et de déconstruction des réacteurs, ainsi que certains déchets produits par les activités du CEA relèvent également de cette catégorie.

### L'avancement du projet Cigéo

L'Andra mène les études relatives au stockage réversible en couche géologique profonde notamment au Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne et dans la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) dont le périmètre a été validé par le Gouvernement en 2010. L'Andra a initié en 2011 la phase de conception industrielle du projet Cigéo, qui doit se poursuivre en vue de la remise du dossier de demande d'autorisation de création dont l'instruction sera conduite par l'Autorité de sûreté nucléaire. La réception des premiers colis de déchets radioactifs est prévue à l'horizon 2030.

Pendant la période 2013-2015 le projet Cigéo a connu des avancées et modifications importantes.

En 2013, la Commission nationale du débat public (CNDP) a organisé 6 mois de débat public sur « *le projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne* ». En complément et compte-tenu des difficultés rencontrées pour assurer la tenue de réunions publiques, la CNDP a demandé l'organisation d'une conférence de citoyens. 17 personnes tirées au sort ont ainsi rédigé un avis après 3 weekends de formation. Les conclusions du débat public et l'avis de la conférence de citoyens<sup>169</sup> ont conduit l'Andra<sup>170</sup> à apporter plusieurs ajustements au projet :

- intégration d'une phase pilote industrielle au démarrage de l'installation ;
- mise en place d'un plan directeur d'exploitation régulièrement révisé ;
- décalage du dépôt de la demande d'autorisation de création ;
- renforcement de l'implication de la société civile dans le projet.

À l'issue du débat public, l'Andra a poursuivi la conception du projet en pilotant une phase d'optimisation des études d'esquisse industrielle intégrant les modifications apportées par le débat public puis en assurant la maîtrise d'ouvrage des études d'avant-projet sommaire. La dernière phase de conception industrielle précédant le dépôt de la demande d'autorisation de création : le passage en phase d'avant-projet détaillé, a démarré fin 2015 et devrait se poursuivre jusqu'en 2017.

Début 2016, l'Andra remettra à l'État et à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) les options de sûreté du projet. Ces documents présenteront les options retenues par l'Andra pour assurer la sûreté de l'installation pendant son fonctionnement, et après sa fermeture ainsi que les possibilités de récupérabilité des colis de déchets radioactifs stockés. L'ASN a fait part à l'Andra de ses exigences sur le contenu de ce dossier<sup>171</sup>. Par ailleurs, l'ASN a décidé de soumettre ce dossier d'options de sûreté à une revue internationale par ses pairs, organisée par l'AIEA.

La définition de la notion de réversibilité a été précisée par le Parlement (loi du 25 juillet 2016), conformément aux dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement.

**R1 – Pour permettre la bonne articulation de l'ensemble des étapes de la gestion des déchets HA et MA-VL et en vue de la prochaine édition du PNGMDR, l'Andra devra, si nécessaire, mettre à jour d'ici le 30 juin 2017 le calendrier du projet Cigéo en précisant les dates envisageables pour le dépôt de la demande d'autorisation de création, le début de la phase industrielle pilote et la mise en service de l'installation de stockage. Ce planning devra être en conformité avec le niveau d'exigences de la démonstration de sûreté à ces différentes étapes.**

<sup>169</sup> Ces documents sont disponibles sur le site internet de la CNDP : <http://cpdp.debatpublic.fr/cpdpcigéo/informer/documents-cpdp/compte-rendu-bilan-debat.html>

<sup>170</sup> Délibération du conseil d'administration de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs du 5 mai 2014 relative aux suites à donner au débat public sur le projet Cigéo.

<sup>171</sup> Courrier de l'ASN à l'Andra du 19 décembre 2014 (référéncé : CODEP-DRC-2014-039834), disponible sur le site internet de l'ASN : <http://www.asn.fr/Informer/Actualites/L-ASN-fait-part-a-l-ANDRA-de-ses-attentes-sur-le-contenu-du-dossier-d-options-de-surete>.

#### 4.2.2 Le traitement et le conditionnement des déchets

Le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs ont pour objet de permettre « la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs » telle que requise par le code de l'environnement. Ces opérations doivent également permettre, selon des modalités adaptées à la nature et aux caractéristiques des déchets radioactifs, la production de colis de déchets radioactifs assurant le confinement des substances radioactives et dangereuses qu'ils contiennent et leur stabilité physico-chimique, et limitant l'hétérogénéité de leur répartition dans le colis de déchets radioactifs. Lorsque cela est nécessaire, elles permettent d'améliorer leur résistance aux agents chimiques et biologiques et facilitent l'évacuation de la chaleur produite lors de la décroissance radioactive. Dans le cas particulier du stockage en couche géologique profonde, les impératifs de récupérabilité des colis doivent être également pris en compte.

Concernant les colis déjà produits, l'Andra doit prendre en compte leurs caractéristiques dans ses études de conception et s'attacher à permettre leur prise en charge. Le cas échéant, s'il n'est pas possible dans des conditions technico-économiques acceptables<sup>172</sup> ou pour des raisons de sûreté de mettre en place des dispositions de conception permettant leur acceptation dans le projet de stockage en couche géologique profonde Cigéo, des opérations de reprise du conditionnement devront être réalisées par leurs détenteurs.

Concernant les colis à produire, les modes de traitement et de conditionnement doivent être étudiés dans l'optique d'une optimisation technico-économique de l'ensemble de la chaîne de gestion des déchets produits, dans les meilleures conditions de sûreté des sites des exploitants producteurs ainsi que de sûreté et de réversibilité du stockage en couche géologique profonde. En tout état de cause, ils ne doivent présenter aucune caractéristique rédhibitoire vis-à-vis de leur stockage et être compatibles avec les exigences du projet de stockage en couche géologique profonde Cigéo à la date de leur production. Conformément à l'article 6.7 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, leur conditionnement est subordonné à l'accord de l'Autorité de sûreté nucléaire, dans l'attente de la détermination des spécifications d'acceptation des colis dans Cigéo.

**R2 – L'Andra devra définir au plus tôt une version préliminaire des spécifications d'acceptation<sup>173</sup> de l'installation de stockage en couche géologique profonde qu'elle conçoit. Elle doit s'attacher, dans l'établissement de ces spécifications, à tenir compte des colis de déchets radioactifs déjà produits et dont elle a été informée des caractéristiques par l'intermédiaire notamment de dossiers de connaissance<sup>174</sup>.**

**R3 – Les producteurs de déchets HA et MA-VL réalisent, dans un délai qui n'excèdera pas 24 mois après la date de transmission du projet de spécifications d'acceptation préliminaires de Cigéo, une analyse de l'acceptabilité des colis de déchets radioactifs qui**

<sup>172</sup> Ces conditions doivent être examinées au regard des coûts globaux de la gestion des déchets concernés.

<sup>173</sup> Il s'agit d'un document préliminaire à la réalisation des spécifications d'acceptation de l'installation de stockage. Ces spécifications d'acceptation définiront, à terme, les principaux critères auxquels un colis de déchets radioactifs définitif doit se conformer pour être accepté dans l'installation en vue de son stockage et notamment ses propriétés radiologiques, physiques, mécaniques et chimiques.

<sup>174</sup> Les dossiers de connaissances sont établis pour les différentes familles de colis HA et MA-VL par leurs producteurs en application des bonnes pratiques mentionnées en annexe 1 du guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde.

ont été conditionnés à cette date au regard de la version préliminaire des spécifications d'acceptation préliminaires de Cigéo transmis par l'Andra.

1) Concernant les familles de colis de déchets radioactifs en cours de production ou ceux dont la production est prévue dans les 10 prochaines années, cette analyse doit permettre d'identifier d'éventuelles incompatibilités entre les caractéristiques attendues des colis à produire et ces spécifications. Si de tels cas sont identifiés, les producteurs de déchets HA et MA-VL concernés mettent à jour leur stratégie de conditionnement.

2) Concernant les familles de colis de déchets radioactifs dont la production est achevée à la date de transmission du projet de spécifications d'acceptation préliminaires de Cigéo, cette analyse doit permettre d'identifier (i) d'éventuelles incompatibilités entre les caractéristiques des colis produits et ces spécifications et (ii) les éléments supplémentaires à acquérir pour améliorer la connaissance des colis au regard des exigences contenues dans ces spécifications.

Si de tels cas sont identifiés :

(i) Un dialogue technique est initié entre l'Andra et les producteurs de déchets correspondant pour définir les modalités adaptées de traitement de ces écarts.

(ii) les producteurs de déchets HA et MA-VL présentent, au regard de cette analyse, le programme d'étude à mener.

Le cas échéant, les chroniques de livraison des colis de déchets sur le projet de stockage géologique profond sont actualisées.

#### 4.2.2.1. Conditionnement des déchets HA

La vitrification, mise en œuvre avec la technologie dit de « pot de fusion en creuset chaud » dans les usines de traitement de Marcoule puis celles de La Hague, est aujourd'hui le procédé industriel de référence en France pour le conditionnement des solutions de produits de fission issues du traitement des combustibles usés. Avec plus de vingt d'années d'expérience et la production cumulée de plus de 16 000 colis vitrifiés, cette technologie peut maintenant être considérée comme mature et robuste.

En complément, un procédé innovant permettant la vitrification de solutions contenant une gamme plus large de produits de fission, à une cadence de production plus élevée, dans un pot de fusion à induction moins sensible à la corrosion<sup>175</sup> par la fonte verrière dit « procédé de vitrification en creuset froid » a été développé conjointement par le CEA et Areva. Ainsi, depuis 2013, la mise en œuvre de la technologie creuset froid a démarré pour la production des colis CSD-U de vitrification de produits de fission issues du traitement des combustibles usés dits « UMo » (constitués d'alliage d'uranium et de molybdène) utilisés dans les réacteurs Uranium Naturel Graphite-Gaz (UNGG) pour lesquels la technologie du creuset froid est indispensable compte tenu notamment des fortes teneurs en molybdène.

L'ASN a autorisé en 2015 l'utilisation de la technologie creuset froid pour la vitrification de solutions de produits de fission issues du traitement des combustibles usés provenant des réacteurs à eau pressurisée.

---

<sup>175</sup> L'inexistence d'un contact entre le verre fondu et le métal froid garantit l'absence de corrosion du creuset en dépit de l'agressivité et de la température du verre fondu.

D'une manière générale, l'intérêt de la matrice vitreuse réside d'abord dans la réduction de volume qui accompagne son utilisation et dans les propriétés de durabilité qui lui sont associées. Concernant les verres standards actuels, la prédiction du comportement à long terme en conditions géologique repose sur le développement d'un modèle mécanistique de l'altération. Sa réalisation a nécessité la compréhension des mécanismes d'altération et de fracturation du fait de l'irradiation interne et des conditions de stockage.

#### 4.2.2.2. Conditionnement des déchets MA-VL

Les déchets dits MA-VL intègrent de nombreuses typologies de déchets provenant des composants (hors combustibles) ayant été soumis à un flux neutronique élevé en réacteur, provenant de procédés liés au recyclage des combustibles usés, des déchets technologiques solides issus d'opérations de maintenance ou de démantèlement des installations, ateliers, laboratoires. Pour le conditionnement de ces déchets, différents procédés, mettant en œuvre divers matériaux de blocage sont déployés industriellement ou sont en voie de mise en œuvre. Les producteurs mènent en parallèle des programmes de R&D afin, d'une part, de fournir les éléments d'évaluation du comportement du colis pendant la phase d'entreposage et d'exploitation du stockage (termes sources gaz, corrosion) et, d'autres part, permettant de définir des performances à long terme en stockage géologique.

##### Conditionnement des boues

Le bitume avait été choisi comme matériau d'enrobage de sels de co-précipitation de radionucléides pour son pouvoir agglomérant élevé, sa grande inertie chimique, son imperméabilité, sa faible solubilité dans l'eau, sa capacité de confinement, son coût modéré et, enfin, sa disponibilité. Pour conforter son comportement en stockage, les exploitants nucléaires et l'Andra ont conduit un programme conséquent de R&D (2012-2015) en vue de démontrer la maîtrise de la sûreté du comportement en stockage en couche géologique profonde des colis de boues bitumées, notamment au regard du risque d'incendie. Des compléments très importants ont également été acquis avec le calcul des termes sources hydrogènes de radiolyse et le gonflement associé, en vue de garantir l'intégrité physique du colis en phase d'exploitation du stockage.

Le procédé de bitumage est aujourd'hui presque complètement remplacé par d'autres procédés. Par exemple, un procédé dit de séchage-compactage de boues issues du traitement par co-précipitation chimique d'effluents de faible et moyenne activité est en cours de développement pour la reprise dans l'atelier STE3 de La Hague des boues anciennes de La Hague.

**R4 – Le CEA, en lien avec l'Andra et les propriétaires de déchets bitumés, poursuit les études sur le comportement des colis de déchets bitumés (notamment réactivité et vieillissement) en vue de disposer des données scientifiques et techniques nécessaires à l'évaluation de leur comportement physico-chimique et thermique pendant la phase réversible du stockage et au-delà. Si elle l'estime nécessaire, l'Andra communique au CEA en amont des études les éléments sur le comportement des colis bitumés dont elle souhaite disposer pour l'élaboration de la démonstration de sûreté de Cigéo.**

**Pour le 30 juin 2017, le CEA remet un rapport décrivant l'ensemble des résultats disponibles.**

**Pour le 30 juin 2018, l'Andra remet un rapport d'analyse sur l'impact de ces résultats sur les conditions d'accueil des colis de déchets bitumés dans Cigéo.**

**R5 – Pour le 30 juin 2018, le CEA et Areva remettent un rapport d'études sur les modalités de transport des colis de déchets bitumés.**

**R6 – Le CEA poursuit les études de recherche et développement relatives aux modes de traitement et de conditionnement des enrobés bituminés (FA-VL et MA-VL), combinant notamment des procédés chimiques et thermiques.**

**Pour le 30 juin 2018, le CEA remet un rapport d'avancement de ces travaux.**

**Le CEA, Areva, EDF et l'Andra remettent pour le 31 décembre 2019 un rapport d'évaluation technique, économique et de sûreté comparant les différents modes de traitement et de conditionnement envisagés pour les déchets bitumés (stockage géologique et solutions alternatives). Cette étude intègre toutes les étapes de la gestion du déchet ainsi que l'impact des différents choix sur la conception et le dimensionnement de Cigéo : transport, sûreté en entreposage et en phase d'exploitation, impacts environnementaux, impacts radiologiques à long terme.**

### Compactage

Depuis 2002, les coques et embouts issus du dégainage des combustibles sont compactés en galettes et conditionnés en colis inox sur l'atelier ACC de l'usine de La Hague. Des travaux de R&D sont menés à l'échelle européenne sur les dynamiques de relâchement du <sup>14</sup>C des gaines en zircaloy et des éléments métalliques pendant la période de stockage.

### Cimentation

La cimentation est le procédé le plus ancien et le plus répandu pour le conditionnement des déchets MA-VL. Elle est utilisée pour bloquer des déchets solides massifs comme les déchets métalliques ayant été soumis à un flux neutronique élevé en réacteurs ou des déchets technologiques mais également pour enrober des concentrats d'effluents ou des déchets sous forme pulvérulente tels que les résines échangeuses d'ions utilisées pour traiter les eaux de piscine. Les ciments réunissent de nombreuses qualités qui sont la disponibilité, l'accès à une grande variété de formulations adaptables à de nombreux types de déchets, un coût modeste, la simplicité de mise en œuvre, une bonne résistance mécanique et une capacité de confinement élevée.

Les acquis majeurs de ces dernières années concernent le comportement des déchets technologiques à base de matériaux polymères. En effet, les rayonnements ionisants conduisent à des processus de radiolyse des polymères générant de nouvelles espèces moléculaires. Les programmes de R&D démarrés en 2006 ont ainsi permis de développer un modèle opérationnel conservatif de relâchement du dihydrogène fondé sur une base de données de rendements radiochimiques issus des polymères industriels, et sur une description mathématique des processus physiques de dégradation radiolytique (rayonnements/matières propres à chaque types d'émetteurs, dépôt d'énergie et absorption d'énergie par la matière).

Conformément à la demande du PNGMDR 2013-2015, Areva a remis en 2015 une étude relative à l'état d'avancement de la caractérisation des déchets MA-VL produits avant 2015 et aux

programmes d'étude du conditionnement de ces déchets<sup>176</sup>. L'étude d'Areva présente pour chacune des opérations de reprise en cours, l'approche générale de développement et de conception des colis MA-VL en adéquation avec Cigéo. Pour chacune des familles, un référentiel de production a été déposé ou devra l'être. Ce référentiel de conditionnement fait l'objet d'une instruction par l'ASN, sans préjudice toutefois de l'accord qui devra être donné par l'Andra pour son acceptation au stockage. Dans l'optique de développer un colis destiné à Cigéo, des programmes de R&D sont mis en œuvre au travers de trois grands axes que sont (i) la R&D liée au choix de conception du colis en s'appuyant sur les différentes technologies (ii) la R&D visant à démontrer l'intégrité du colis pendant la phase d'entreposage et d'exploitation réversible du stockage et enfin (iii) un troisième volet relatif au comportement de long terme en conditions de stockage géologique lors de la phase de resaturation progressive jusqu'à resaturation complète du site. Pour cette dernière la responsabilité de la démonstration est partagée entre le producteur, qui s'attache à définir les termes sources ou les modèles de relâchement et l'Andra qui s'attache à démontrer le comportement en présence des matériaux du stockage. La définition d'un colis est donc le résultat d'un optimum prenant en compte l'ensemble de ces éléments.

Conformément à la demande du PNGMDR 2013, 2015, le CEA a remis en 2015 une étude relative à l'état d'avancement de la caractérisation des déchets MA-VL produits avant 2015 et aux programmes d'étude du conditionnement des déchets<sup>177</sup>. L'étude du CEA présente :

- l'inventaire des matières organiques contenues dans les déchets des colis MA-VL ;
- la démarche d'évaluation de la nature et de la quantité de gaz produits par dégradation des déchets et les résultats expérimentaux disponibles ;
- les travaux de détermination de la nature et de la quantité de produits de dégradation hydrosolubles PDH<sup>178</sup> formés par dégradation des déchets et les études conduites sur le pouvoir complexant des PDH formés ;
- les enseignements tirés des expériences de transfert et d'adsorption des PDH sur l'argilite du site de Bure.

L'ASN a demandé que cette étude soit poursuivie et finalisée sur la base de plusieurs recommandations formulées dans son courrier au CEA du 25 février 2016<sup>179</sup>.

**R7 – Le CEA poursuit ses études relatives à la caractérisation et au conditionnement des déchets MA-VL produits avant 2015 sur la base des recommandations formulées dans le courrier de l'ASN du 25 février 2016 précité et en lien avec la version préliminaire des spécifications d'acceptation appelée en R2.**

**Sur la base d'une hiérarchisation des études à mener, le CEA fournit un calendrier associé à la réalisation du programme de recherche et développement envisagé.**

<sup>176</sup> Le rapport remis par Areva est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

<sup>177</sup> Le rapport remis par le CEA est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie aux adresses précitées ci-dessus.

<sup>178</sup> Les produits de dégradation hydrosolubles (PDH), sont susceptibles, en particulier par des phénomènes de complexation avec les radionucléides, de modifier les capacités de migration de ces derniers dans le stockage.

<sup>179</sup> Courrier de l'ASN au CEA en date du 25 février 2016 (référéncée : CODEP-DRC-2016-008380), disponible sur le site internet de l'ASN : <http://www.asn.fr>

## Vitrification

Areva a mis en œuvre en 2010 un procédé pour la production de colis standard de déchets vitrifiés d'effluents de rinçage de moyenne activité, dits CSD-B, issus des opérations préparatoires au démantèlement de l'usine UP2-400. Compte tenu de la nature radiologique des effluents traités, les colis CSD-B relèvent de la catégorie MA-VL. Parallèlement, des études de comportement long terme ont été menées pour estimer les performances de ces verres à relativement faible inventaire radiologique en conditions de stockage en alvéole cimentaire (contrairement au cas des alvéoles HA, un revêtement cimentaire est, en effet, prévu dans les alvéoles MA-VL).

## Procédé d'incinération/vitrification

À la suite de l'abandon du compactage des déchets organiques riches en émetteurs alpha pour lequel l'ASN a estimé qu'il ne présentait pas de garantie suffisante pour un entreposage de longue durée ou un stockage, un procédé innovant d'incinération/vitrification, appelé PIVIC, visant à les traiter et les conditionner en une seule étape est à l'étude. Le principe consiste à introduire les déchets dans un four et à les incinérer, ou les fondre pour les déchets métalliques, par une torche à plasma au-dessus d'un bain de verre fondu. Les cendres résultantes sont incorporées au verre et le métal fondu se retrouve au fond du creuset. Le conteneur primaire du déchet est ainsi constitué d'une phase métallique et d'une phase vitreuse. Ce procédé, rassemble plusieurs procédés et notamment l'incinération par torche à plasma, la vitrification, la fusion par induction et le traitement des gaz. Areva a remis, notamment dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 un rapport d'étape qui présente le programme d'études de la faisabilité de mise en œuvre du traitement des déchets technologiques (métalliques et organiques) contaminés en émetteurs alpha. Sa démonstration repose sur un programme de R&D incluant la conception et la réalisation d'essais sur maquettes.

**R8 – Areva, en lien avec le CEA et l'Andra, poursuit les travaux de développement du procédé d'incinération/vitrification, appelé PIVIC, visant à conditionner les déchets MA-VL organiques riches en émetteurs alpha en vue d'une mise en service à l'horizon 2030. Areva fournira avant le 31 décembre 2018 un rapport d'étape sur ces travaux.**

## Procédés à définir

Les déchets de structure de type gaines magnésiennes des combustibles usés UNGG et les déchets pulvérulents issus du traitement de combustibles usés UNGG entreposés à Marcoule doivent être conditionnés avant 2030 conformément à l'échéance définie par l'article L. 542-1-3 du code de l'environnement. De nouveaux types de conditionnement doivent être définis pour ces déchets.

**R9 – Le CEA transmettra, avant le 31 décembre 2017, son schéma de reprise des déchets de structure de type gaines magnésiennes des combustibles usés UNGG et des déchets pulvérulents issus du traitement de combustibles usés UNGG entreposés à Marcoule ainsi que le plan de développement des unités de conditionnement associées, accompagnées d'un calendrier justifiant le respect de l'échéance définie par l'article L. 542-1-3 du code de l'environnement.**

### 4.2.3 La séparation-transmutation des actinides mineurs

La loi du 28 juin 2006 a confirmé l'intérêt des recherches sur l'entreposage et la séparation-transmutation, en soulignant leur complémentarité avec le stockage en couche géologique profonde. Ces recherches sont coordonnées par le CEA, dans un but « *d'évaluation des perspectives industrielles* » des filières correspondantes (réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération à neutrons rapides, systèmes pilotés par accélérateur) et de préparation de la mise en exploitation d'un prototype d'installation à l'horizon 2020.

#### La séparation-transmutation.

Le passage en réacteur des combustibles à base d'oxyde d'uranium (UOx) ou d'un mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium (MOx) entraîne une évolution de leur composition chimique et isotopique du fait des différentes réactions de fission et de capture neutronique. Les réactions de fission produisent les produits de fission : éléments radioactifs, répartis en deux familles centrées autour des éléments de masse 100 et 140 (famille des lanthanides), qui émettent essentiellement des rayonnements bêta et gamma. Les réactions de capture neutronique de l'uranium et du plutonium produisent majoritairement les éléments actinides : neptunium (Np), américium (Am) et curium (Cm) dits « actinides mineurs ».

Les éléments cibles de la stratégie de séparation-transmutation sont les actinides mineurs (Np, Am, Cm), dans la mesure où une politique de recyclage voire multi-recyclage du plutonium est préalablement mise en œuvre. La séparation puis la transmutation des produits de fission à vie longue n'est pas techniquement possible.

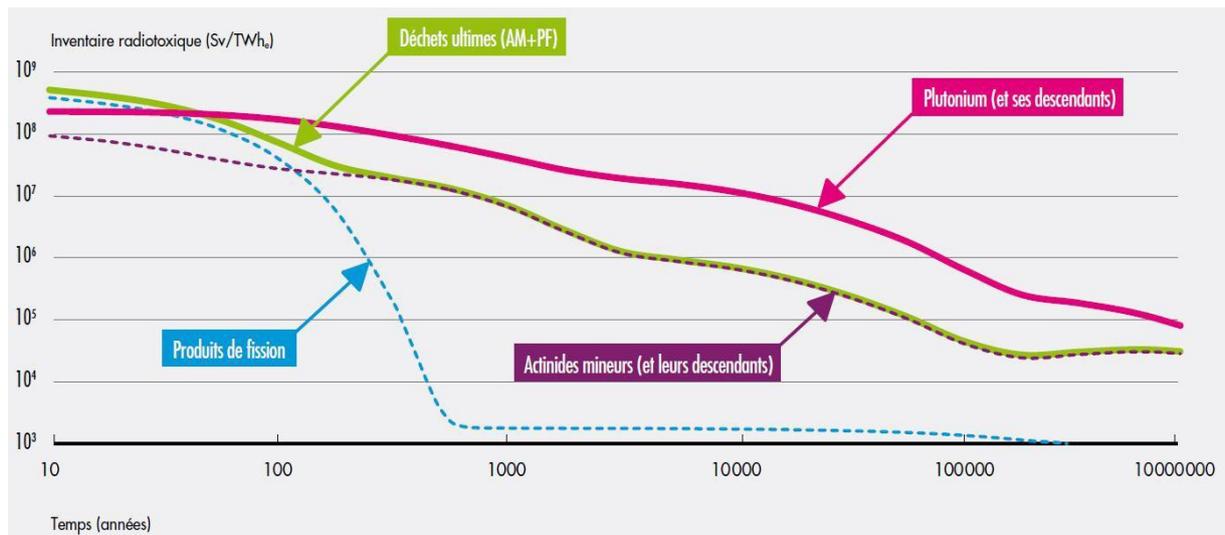
La séparation-transmutation ne pouvant s'appliquer à l'ensemble des radioéléments et ne permettant pas une destruction totale des éléments, elle ne supprime pas le besoin d'un stockage en couche géologique profonde. Elle doit ainsi être perçue comme une piste d'optimisation possible de la gestion des déchets de haute activité.

#### Bénéfices de la séparation transmutation

Les actinides mineurs n'étant pas mobiles dans le concept de stockage dans l'argile retenu en France, ces derniers étant quasi totalement confinés en champ proche, ils ne contribuent pas aux doses radiologiques à l'exutoire (en scénario d'évolution normale ou altérée – hors scénario d'intrusion involontaire). En revanche, le plutonium ayant été extrait, ils représentent la composante majoritaire de l'inventaire de radiotoxicité intrinsèque des déchets ultimes à moyen et long termes (cf. figure ci-après)<sup>180</sup>, ainsi que la source principale de leur puissance thermique dans les premiers siècles de leur désactivation progressive.

---

<sup>180</sup> Après trois siècles, près de 99 % de la radiotoxicité résiduelle des déchets vitrifiés actuellement produits est due à la présence d'américium, de curium et de leurs descendants.



Évolution dans le temps de l'inventaire de radiotoxicité par ingestion des différents composants d'un combustible usé (UOX 45GWj/t)<sup>181</sup>

### Différents scénarios de mise en œuvre de la séparation-transmutation

Afin de comparer les différentes options de séparation-transmutation, des études de scénarios ont été réalisées en calculant l'impact des scénarios sur la gestion ultime des déchets en prenant en considération différents critères tels que : le volume de déchets, l'inventaire de radiotoxicité, l'impact radiologique du stockage et la puissance thermique des déchets. En ce qui concerne ce dernier critère, les calculs de puissance thermique résiduelle de colis de haute activité contenant les déchets ultimes des opérations de retraitement des combustibles UOx et MOx indiquent qu'au-delà de 100-120 ans, la puissance thermique résiduelle du colis HA provient essentiellement de l'isotope <sup>241</sup>Am de 433 ans de période radioactive. Les principaux contributeurs à la composante thermique à court terme sont les produits de fission <sup>137</sup>Cs et <sup>90</sup>Sr d'une période de l'ordre de 30 ans et le <sup>244</sup>Cm d'une période de 18 ans. Ainsi, en envisageant la mise en place préalable d'une durée d'entreposage suffisante avant stockage pour diminuer la contribution thermique à court terme des éléments Cs, Sr et Cm, la transmutation de l'américium permettrait de fortement réduire la composante thermique à moyen et long terme des colis de déchets et donc l'emprise au sol du site de stockage.

Parmi les actinides Np, Am et Cm, l'américium est donc la cible considérée prioritairement dans les scénarios de séparation-transmutation : la transmutation de l'américium est susceptible d'apporter des gains notablement plus importants que celle des autres actinides mineurs, tout en évitant les contraintes très lourdes liées à la gestion d'éléments tels que le curium. L'ensemble des études relatives à la séparation et à la transmutation des actinides mineurs menées depuis 2012 n'ont porté que sur l'américium.

La séparation-transmutation de l'américium consiste à l'extraire sélectivement des combustibles usés, pour ensuite le transmuter dans des réacteurs à neutrons rapides (c'est-à-dire le fissionner

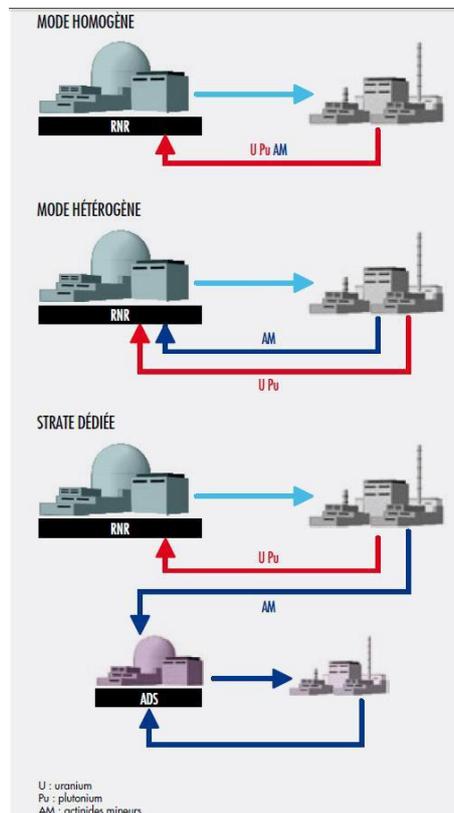
<sup>181</sup> Cette figure est extraite du rapport « Avancées des recherches sur la séparation-transmutation et le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à flux de neutrons rapides » remis au titre du PNGMDR 2013-2015 et disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

pour obtenir des éléments à durée de vie plus courte, ce qui ne peut être efficacement réalisé que dans des réacteurs à flux de neutrons rapides).

Plusieurs options peuvent être envisagées pour cette séparation-transmutation (cf. figure ci-après):

- la transmutation en mode homogène : l'américium (ou de manière plus générale, les actinides mineurs) est transmuté en le « diluant » dans le combustible des réacteurs électrogènes (cela conduit à une teneur de l'ordre de 1 % en masse d'atome lourd) ;
- la transmutation en mode hétérogène : l'américium est transmuté dans des réacteurs électrogènes, sous une forme plus concentrée dans un nombre limité de « combustibles dédiés » ; une option particulièrement intéressante semble être le recyclage sous la forme de « couvertures » d'uranium chargées en américium – CCAm<sup>182</sup> – (à une teneur de l'ordre de 10 % pour un parc essentiellement constitué de RNR) placées en périphérie du cœur ;
- la transmutation en « système dédié », dans une « strate dédiée » du parc ; c'est l'option de la transmutation dans les systèmes pilotés par accélérateurs (ADS), qui gèreraient l'américium ou de manière plus générale les actinides mineurs de façon dé耦plée du cycle de gestion de l'uranium et du plutonium.



*Différentes options de la transmutation des actinides mineurs<sup>183</sup>*

<sup>182</sup>On parle de concept CCAM pour Couverture Chargée en Actinides Mineurs et de CCAm pour Couverture Chargée en Américium.

<sup>183</sup> Cette figure est extraite du rapport « Avancées des recherches sur la séparation-transmutation et le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à flux de neutrons rapides » remis au titre du PNGMDR 2013-2015 et disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie.

## Perspectives relatives à la séparation-transmutation

Sur la base de l'état d'avancement des recherches sur la séparation-transmutation, la Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) a préconisé, dans son rapport de 2015<sup>184</sup>, la poursuite active des recherches dans ce domaine d'étude afin de pouvoir progresser dans la fiabilisation des procédés qui devraient le cas échéant être mis en œuvre.

Toutefois, au regard notamment des gains pouvant être espérés de la transmutation des actinides mineurs en termes de sûreté, de radioprotection et de gestion des déchets, l'ASN avait considéré dans son avis du 4 juillet 2013 « que les possibilités de séparation et de transmutation des éléments radioactifs à vie longue ne devraient pas constituer un critère déterminant pour le choix des technologies examinées dans le cadre de la quatrième génération. Les différentes technologies de réacteurs étudiées devraient être comparées notamment sous l'angle des perspectives de renforcement de la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement par rapport aux réacteurs de troisième génération de type EPR. ». Ces termes ont été rappelés, dans son avis du 25 février 2016, où elle ajoute que « la poursuite des études sur la séparation et la transmutation ne peut trouver sa justification dans la sûreté nucléaire ou la radioprotection. »<sup>185</sup>

**R10 – Le CEA coordonne les recherches conduites sur la séparation-transmutation des éléments radioactifs à vie longue, en lien avec les autres organismes. À ce titre, il élabore avant le 31 décembre 2018, en lien avec EDF et AREVA, un programme d'études qui pourraient être menées dans le prototype mentionné au 1<sup>o</sup> de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 afin de démontrer, à une échelle représentative, la capacité des technologies proposées à multi-recycler le plutonium contenu dans les combustibles MOx usés issus des réacteurs à eau en utilisant de l'uranium appauvri ; stabiliser ou réduire les inventaires en plutonium par une consommation accrue de cette substance et transmuter l'américium.**

Le CEA présente dans ce programme les déchets radioactifs produits par ces technologies ainsi que les installations du cycle qui seraient nécessaires pour conduire ces démonstrations.

**R11 – Afin de mieux préciser l'état initial qui pourrait prévaloir au moment d'un éventuel déploiement à grande échelle de réacteurs à neutrons rapides, le CEA doit remettre, avant le 30 juin 2018, un inventaire prospectif entre 2016 et 2100 des matières et des déchets radioactifs présents dans les combustibles usés qui seraient produits par le parc de réacteurs français selon différents scénarios, notamment dans le prolongement de ceux étudiés avec EDF et Areva au titre du PNGMDR 2013-2015 et intégrant un scénario dans lequel le parc futur ne serait pas composé de réacteurs à neutrons rapides.**

Le CEA présentera également dans cette étude, en lien avec l'Andra, l'estimation de l'emprise totale de ces substances radioactives en stockage en couche géologique profonde.

<sup>184</sup> Ce rapport d'évaluation (n° 9) de la CNE2 est disponible sur le site internet de la CNE : <https://www.cne2.fr/>.

<sup>185</sup> Les avis de l'ASN du 4 juillet 2013 (n° 2013-AV-0187) et du 25 février 2016 (n° 2016-AV-0259) sur la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

#### 4.2.4 L'entreposage des déchets HA et MA-VL

Si l'entreposage de longue durée des déchets n'est pas une solution acceptable pour gérer de manière définitive les déchets radioactifs, un entreposage est indispensable dans l'attente de la mise en service du projet de stockage Cigéo, pour permettre le refroidissement de certains déchets puis pour accompagner son exploitation industrielle qui se développera par étapes, associées à un processus décisionnel ouvert et progressif. Par ailleurs, dans le cas où des opérations de retrait de colis stockés seraient décidées dans le cadre de la réversibilité du stockage, des installations d'entreposage seraient a priori nécessaires.

##### Études et recherches sur l'entreposage

La loi de programme du 28 juin 2006 a confié à l'Andra la coordination des recherches et études sur l'entreposage des déchets HA et MA-VL. Celles-ci sont inscrites dans une optique de complémentarité avec le stockage réversible. La loi prévoyait de les conduire en vue, au plus tard en 2015, de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes, pour répondre aux besoins, notamment en termes de capacité et de durée, recensés par le PNGMDR.

Certaines avancées ont ainsi été intégrées par Areva, en lien avec l'Andra, dans la conception de l'extension de l'entreposage des déchets HA sur le site de La Hague, mise en exploitation en 2013. Cela permet d'envisager une durée d'exploitation accrue de cette installation.

Si l'Andra a supervisé la réalisation de ces études, une collaboration entre l'Andra et d'autres exploitants nucléaires (notamment Areva, le CEA et EDF) doit être développée pour capitaliser le retour d'expérience de la conception, de la construction et du fonctionnement des installations d'entreposage existantes et pour renforcer la complémentarité entre les installations exploitées par les producteurs de déchets et le futur centre de stockage en couche géologique profonde.

L'Andra a remis début 2013<sup>186</sup> un bilan de l'ensemble des recherches et études réalisées. Ce bilan rendait compte notamment du recensement des besoins futurs en entreposage qui avait été effectué, de l'exploration de la complémentarité entre l'entreposage et le stockage, des études et recherches sur l'ingénierie et sur le comportement phénoménologique des entrepôts et de l'examen d'options techniques novatrices. De 2013 à 2015, l'Andra a approfondi l'étude des concepts d'entreposage liés à la réversibilité du stockage. Il s'agit d'installations hypothétiques futures qui, le cas échéant, accueilleraient des colis retirés du stockage. Pour de telles installations, l'Andra a recherché une polyvalence qui permettrait d'entreposer simultanément ou successivement des colis de types divers sous leur forme primaire ou placés en sur-conteneur de stockage.

---

<sup>186</sup> Ce rapport de l'Andra « Bilan des études et recherches sur l'entreposage (déchet radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue » (référéncé CRPADPG130001.B) est disponible sur le site internet de la CNDP : <http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-cigeo/docs/decisions/rapport-2012-andra-entreposage.pdf>

Partant des résultats des recherches et études, l'Andra a émis en 2014<sup>187</sup> des recommandations pour la conception de futures installations s'inscrivant dans la complémentarité avec le stockage. Ces recommandations ont aussi bénéficié du retour d'expérience industriel et de la poursuite de recherches sur la durabilité des matériaux et sur les systèmes de surveillance. Elles portent particulièrement sur les dispositions favorables à la durabilité des installations (jusqu'à une centaine d'années), leur surveillance ainsi que la conception de l'entreposage lié à la réversibilité du stockage.

Au stade actuel, des études génériques de concepts d'entreposage complémentaire au stockage n'apporteront plus d'avancées significatives. Des études complémentaires éventuelles devront être menées dans le cadre de projets d'installation d'entreposage portés par les exploitants.

En tout état de cause, les études menées par l'Andra et le retour d'expérience ont donc permis d'identifier les orientations suivantes :

- Prendre des marges significatives à la conception en matière de dimensionnement du génie civil des installations vis-à-vis de la durée prévue d'entreposage des déchets et de la résistance aux agressions d'origine externe. Pour les entrepôts modulaires, l'augmentation de la taille des installations liée à l'ajout d'extensions devrait être prise en compte lors de l'analyse de sûreté à la conception ;
- Privilégier une architecture simple et modulaire, l'utilisation de systèmes passifs (ventilation par convection naturelle notamment) et adapter le nombre de barrières de confinement statique à la nature et à l'état des colis entreposés ;
- Définir à la conception les dispositions – en adéquation avec les matériaux de colisage des déchets radioactifs – permettant de maîtriser les conditions d'ambiance de l'entreposage en situation de fonctionnement normal, incidentel et accidentel (température, hygrométrie, concentration en hydrogène de radiolyse...) et permettant de maintenir la première barrière de confinement statique assurée par le colisage ;
- Définir à la conception les aménagements nécessaires à la réalisation des opérations de surveillance et de traitement des écarts potentiels des ouvrages de génie civil, des équipements de l'installation et des colis de déchets ; en particulier, privilégier la mise en place d'équipements propres à l'installation permettant le reconditionnement des conteneurs dégradés ;
- Prendre des dispositions pour assurer la conservation de la mémoire de l'installation d'entreposage et de ses évolutions jusqu'à son déclassement et pour garantir, pendant toute la durée de leur entreposage, l'identification sans équivoque des colis de déchets radioactifs ainsi que l'enregistrement et l'archivage des informations nécessaires à la gestion ultérieure des déchets qu'ils contiennent.

**R12 – Les exploitants devront justifier la prise en compte des recommandations susmentionnées dans la conception de nouvelles installations d'entreposage ou, pour les installations existantes et lorsque cela est applicable, à l'occasion des réexamens périodiques.**

---

<sup>187</sup> Le rapport de l'Andra : « Recommandations pour la conception d'installations d'entreposage s'inscrivant dans la complémentarité avec le stockage », remis au titre du PNGMDR 2013-2015 est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

Dans son étude remise en 2013, l'Andra précise avoir arrêté ses recherches concernant les installations d'entreposage à faible profondeur du fait notamment d'une plus grande complexité – en particulier liée à la gestion des eaux souterraines et de la ventilation dans le cas de déchets exothermiques –, en raison d'une surveillance du génie civil plus complexe (accessibilité limitée à l'extrados des ouvrages au contact avec la roche) et d'une moindre flexibilité. Le niveau de détail technique du document remis par l'Andra ne permet cependant pas de statuer sur la pertinence de l'abandon définitif de l'option de conception d'installations d'entreposage à faible profondeur.

**R13 – L'Andra devra préciser, avant le 31 décembre 2017, les éléments techniques sur la base desquels elle a décidé l'abandon définitif de l'option de conception d'installations d'entreposage à faible profondeur.**

#### Recensement des besoins en capacités d'entreposage sur les sites de production des déchets radioactifs

Deux types de solutions d'entreposage de colis de déchets sont déployés industriellement : des entreposages modulaires, avec une conception intégrant la capacité de construire des extensions au fur et à mesure du besoin, sans interruption du fonctionnement, et des entreposages dont la capacité a été dimensionnée au préalable, pour une population déterminée de colis de déchets.

Les colis de déchets HA et MA-VL doivent tous être entreposés dans des installations dédiées. Dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, les producteurs, après avoir présenté l'inventaire à fin 2013 des colis de déchets HA et MA-VL à destination de Cigéo<sup>188</sup> et l'état des lieux des entreposages existants, ont plus particulièrement analysé les éléments structurants permettant d'identifier des besoins en entreposage de colis de déchets<sup>189</sup>. Pour cela, seuls quatre exemples représentatifs des différentes familles de colis ont été retenus par les exploitants :

- les colis de déchets HA vitrifiés entreposés dans les entreposages de type E ES EV sur le site Areva de la Hague,
- les colis de bitume de l'EIP sur le site CEA de Marcoule,
- les colis MA-VL cimentés de CEDRA sur le site CEA de Cadarache,
- les colis C1PG de déchets MA-VL du futur entreposage ICEDA sur le site EDF de Bugey.

---

<sup>188</sup> Données du PIGD ind. D juin 2014.

<sup>189</sup> Le rapport conjoint du CEA, d'Areva et EDF : « La gestion des déchets HA-MAVL : besoins en entreposages des colis à destination du centre de stockage en projet Cigéo » remis au titre du PNGMDR 2013-2015 est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

Les résultats de cette analyse sont reportés dans le tableau de synthèse suivant.

Thématique	Sous-thématique	EV LH Colis déchets vitrifiés	EIP Colis Bitumes	CEDRA colis MI	ICEDA Colis C1PG
<b>Entreposages existants</b>	<i>Entreposage actuel</i>	Oui, extensibles par fosses	Oui : Extensible alvéole	Oui : Extensible tranche	En cours de construction
	<i>Site d'entreposage</i>	La Hague	Marcoule	Cadarache	Bugey
	<i>Date de mise en service industrielle</i>	R7 1989, T7 1992, E-EV-SE 1997, E-EV-LH fosse 30 2013	2 000	2 006	2 018
	<i>Durée prévisionnelle d'exploitation</i>	De 75 à 100 ans	50 ans	50 ans	50 ans
	<i>Capacité d'entreposage</i>	R7 4 500 places, T7 3 600 places, E-EV-SE 4 428 places, E-EV-LH fosse n°30 4 199 places	6 000 futs/alvéole	4 000 colis FI/bâtiment 1500 colis MI	4 000 m <sup>3</sup>
<b>Gestion d'entreposage</b>	<i>Durée de remplissage / flux d'entrée</i>	5 ans par alvéole	3 ans/alvéole	10 ans/Tranche	-
	<i>Durée de désentreposage / flux de sortie vers Cigéo</i>	5 ans pour un alvéole en régime Cigéo établi	3 ans/alvéole	≤ 5 ans/bâtiment	Pour les déchets MA-VL, entre 100 et 150 colis / an à partir de 2055 (d'après PIGD vD)
	<i>Besoin d'une extension/nouvelle installation</i>	Tous les 5 ans	5-6 en 2025	T2 après 2028	Non nécessaire à ce jour
<b>Possibilités d'extension</b>	<i>Capacités supplémentaires</i>	E-EV-LH alvéole n°40 4 212 places en 2017, puis l'équivalent tous les 5 ans	De 7 à 16 alvéoles de 6 000 fûts	Bâtiment / tranche (4000 colis FI/bâtiment et 1500 colis MI)	Un demi-hall sur ICEDA
<b>Délais de construction</b>	<i>Durée prévisionnelle de construction d'une extension/nouvelle installation d'entreposage</i>	3 ans	4 ans	5 ans (tranche de plusieurs bâtiments)	2 – 5 ans
<b>Délais d'étude</b>	<i>Durée des études de conception, demande ... d'extension</i>	4 à 5 ans (sans article 31 et sans enquête publique)	2 ans	3 ans (décret)	-
	<i>Durée des études de conception et de demande d'une nouvelle installation</i>	6 à 7 ans (avec article 31 et avec enquête publique)	-	-	~ 8 ans dont autorisations administratives <sup>190</sup>

<sup>190</sup> Le retour d'expérience montre en outre que la durée nécessaire des premières étapes de conception jusqu'à la mise en service effective, est de l'ordre de 10 à 15 ans.

Les producteurs indiquent qu'une analyse complète ne pourrait être appliquée à l'ensemble des colis de déchets HA et MA-VL qu'une fois l'ordonnancement des livraisons des colis à Cigéo mis à jour.

Areva indique toutefois les éléments complémentaires suivants pour ses besoins en entreposages sur son site de La Hague :

- concernant les colis vitrifiés, les entreposages R7, T7 et EEVSE représentent une capacité totale de 12 528 colis, qui est saturé. L'entreposage EEVLH fosse 30 dispose d'une capacité de 4199 places permettant d'accueillir des colis vitrifiés jusqu'en 2017. En 2017 la fosse 40 de EEVLH sera mise en service pour accueillir 4212 colis jusqu'en 2021. À partir de cette date, Areva étudie la faisabilité d'une extension de la fosse R7. Areva prévoit de déposer les demandes d'autorisation d'extension de R7 en 2016 ;
- concernant les colis compactés, l'entreposage ECC disposant d'une capacité de l'ordre de 20900 places sera saturé au plus tôt en 2020. Areva envisage à ce jour de déposer une demande d'autorisation d'extension en 2017 ;
- concernant les colis cimentés, il n'est pas entrevu de saturation à court terme de la capacité globale d'entreposage de ces colis (12 046 places). Areva prévoit d'entreposer les colis CBF-C'2 dans EDT-C à partir de 2018, et de transférer les fûts de coques et embouts (1518 FCE) depuis EDC-B et C vers DE EDS en 2019 pour libérer de la place pour les CBF-C'2. Pour ce faire, Areva a déposé une demande d'autorisation en décembre 2015 ;
- concernant les fûts de bitume, les colis C5 et les déchets alpha, il n'est pas estimé de saturation à court terme de la capacité globale des entreposages STE3 et DE EB (47 000 places). Les fûts de bitumes sont actuellement entreposés dans trois alvéoles du bâtiment S de STE3. Areva envisage d'entreposer les colis C5 dans deux alvéoles du bâtiment ES de DE EB lorsqu'ils seront produits. Par ailleurs, les fûts primaires de déchets alpha du site de La Hague sont actuellement entreposés dans deux alvéoles du bâtiment ES de DE EB. Areva envisage d'utiliser une troisième alvéole à partir de 2019 pour y entreposer le reste de fûts alpha. Areva prévoit de déposer des demandes d'autorisation en 2018. Afin de pouvoir utiliser une quatrième alvéole pour les fûts alpha et à terme pour les colis PIVIC, Areva envisage de transférer les fûts bitume d'une des trois alvéoles vers les deux autres. À cette fin, Areva prévoit de déposer une demande d'autorisation en 2018.

L'étude remise à ce jour par les producteurs demeure incomplète. À cet égard :

- les inventaires de déchets radioactifs doivent être actualisés et devraient être tenus à jour en permanence ;
- l'analyse des besoins en entreposages futurs doit concerner toutes les familles de déchets HA et MA-VL et ne pas être limitée à 4 familles de déchets à destination de Cigéo.

**R14 – Les producteurs de déchets HA et MA-VL tiennent à jour annuellement l'état de disponibilité des capacités d'entreposage de déchets HA et MA-VL pour chaque famille de déchet et identifie les besoins futurs en capacité d'entreposage.**

**R15 – Au titre du premier exercice, les producteurs de déchets HA et MA-VL remettent avant le 30 juin 2017 les besoins en entreposages futurs, portant au minimum sur les 20 prochaines années, pour toutes les familles de déchets HA et MA-VL selon la recommandation R14.**

La stratégie retenue par les exploitants pour la gestion des entreposages consiste à ajuster, pour des raisons technico-économiques, les capacités d'entreposage et le calendrier des constructions de nouvelles installations d'entreposage ou d'extensions dans le cas d'installations de conception modulaire (comme c'est, par exemple, le cas sur le site de La Hague pour les déchets vitrifiés) en fonction des flux de production et des chroniques de remplissage et désentreposage des déchets.

S'il est légitime de programmer l'extension des capacités d'entreposage au fur et à mesure de la production des déchets, le fait de s'appuyer sur des hypothèses de désentreposage impose néanmoins de prendre des marges sauf à risquer une saturation prématurée de l'entreposage en cas d'aléa.

Des incertitudes demeurent quant au calendrier de mise en service d'une installation de stockage en couche géologique profonde, aux chroniques de livraison qui seront décidées et autorisées et enfin à l'acceptabilité de certains colis de déchets dans l'installation supposée autorisée. Le constat dressé par l'ASN dans son avis du 16 mai 2013<sup>191</sup> : « *les producteurs de déchets concernés doivent prendre les marges nécessaires pour couvrir d'éventuels aléas sur les filières aval dans les études poursuivies de façon à disposer en temps voulu des capacités d'entreposage des déchets suffisantes préalablement à leur stockage en couche géologique profonde* » reste d'actualité.

Le retour d'expérience récent (installations DIADEM et ICEDA) montre en outre que la durée nécessaire pour la création de nouvelles installations d'entreposage, des premières étapes de conception jusqu'à la mise en service, est de l'ordre de 10 à 15 ans.

**R16 – Les producteurs de déchets HA et MA-VL doivent prendre des marges temporelles significatives pour la réalisation des études de conception, la construction et l'obtention des autorisations administratives de nouvelles installations d'entreposage afin d'assurer la disponibilité des capacités d'entreposage nécessaires.**

**R17 – Pour vérifier la robustesse de ces marges, les producteurs de déchets HA et MA-VL devront étudier la sensibilité du besoin en entreposages à des décalages dans le calendrier de développement du projet Cigéo.**

**Cette analyse doit permettre d'identifier d'éventuels effets de seuil en termes de besoins en entreposages futurs ou d'allongements de la durée de fonctionnement d'entreposages vieillissants.**

**Ces études de sensibilité intègrent notamment l'actualisation des stratégies de démantèlement des exploitants.**

**R18 – La saturation des entreposages devra être suivie dans le cadre du PNGMDR et les besoins en nouvelles capacités, dont certains sont déjà avérés, précisés au moins sur les 20 prochaines années.**

---

<sup>191</sup> L'avis n° 2013-AV-0179 de l'ASN du 16 mai 2013, dans sa version consolidée au 30 mai 2013, sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

**I1 : Taux de remplissage des capacités d'entreposage de l'ensemble des colis vitrifiés CSD-V sur le site de La Hague (exprimé en capacité disponible sur la production annuelle de CSD-V)**

**I2 : Taux de remplissage des capacités d'entreposage de colis CSD-C sur le site de La Hague (exprimé en capacité disponible sur la production annuelle de CSD-C)**

**I3 : Taux de remplissage des capacités d'entreposage de colis C1PG sur le site du Bugey**

**I4 : Taux de remplissage des capacités d'entreposage de colis de boues bitumées sur le site de Marcoule**

**I5 : Taux de remplissage des capacités d'entreposage de colis dits DIADEM sur le site de Marcoule**

**I6 : Taux de remplissage des capacités d'entreposage de colis dits MI sur le site de Cadarache**

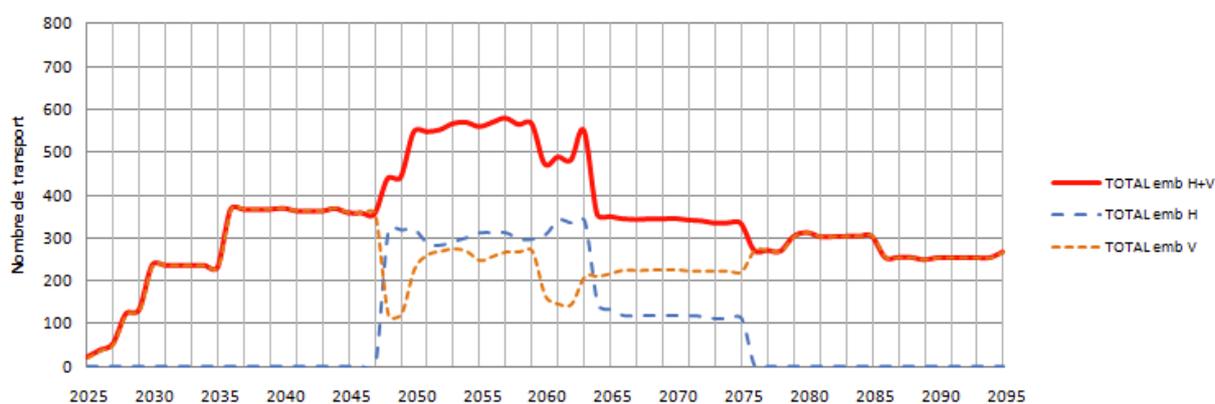
**I7 : Taux de remplissage des capacités d'entreposage de colis dits FI sur le site de Cadarache**

#### **4.2.5 Adéquation des moyens de transport avec l'exploitation du stockage**

L'adéquation des moyens de transport avec l'exploitation du stockage fait l'objet d'échanges entre Areva, CEA, EDF et l'Andra. Les producteurs travaillent de manière conjointe dans le domaine de la logistique amont au stockage, qui est de leur responsabilité. Tout particulièrement, le domaine des transports est de la responsabilité des expéditeurs de substances radioactives.

Les études réalisées à ce sujet s'organisent autour du programme industriel de gestion des déchets (PIGD), défini par les producteurs en lien avec l'Andra, qui décrit les grandes hypothèses d'ordonnancement des livraisons de colis de déchets à Cigéo. Le PIGD, qui contient les données d'entrée pour les études du projet Cigéo, comporte notamment les données liées aux emballages de transport, leurs modes de transport et d'exploitation, les hypothèses de capacité des emballages, et les flux de transport en lien avec la conception de Cigéo.

### Flux annuel d'emballages de transport reçus à Cigéo



Source : Programme industriel de gestion des déchets défini par les producteurs, indice D, juin 2014

Le cadre de l'analyse par les producteurs de déchets de l'adéquation des moyens de transport avec l'exploitation du stockage consiste à anticiper, par un rétro-planning basé sur leur retour d'expérience, la disponibilité des flottes d'emballages au moment adéquat pour permettre l'acheminement des colis de déchets vers Cigéo.

Les études d'orientation s'appuient sur l'expérience acquise par les opérations de transports nucléaires réalisées par les industriels français, en particulier les renvois de déchets appartenant aux clients étrangers d'Areva qui sont des opérations proches de celles qui devront être menées pour les livraisons à Cigéo. Ces travaux identifient, dans le cadre d'un rétro-planning type, des programmes d'études nécessaires pour tenir les jalons identifiés. La liste des emballages envisagés, ainsi que leurs modes de transport (route, fer, voie fluviale...) et d'exploitation (horizontal ou vertical), est tenue à jour dans le PIGD.

La démarche des producteurs a consisté à proposer des solutions de transport en tenant compte du meilleur niveau de connaissance disponible de leurs colis primaires et de leur retour d'expérience concernant la conception, la fabrication et l'exploitation de leurs parcs d'emballages de transport de substances radioactives.

Les producteurs de déchets ont commencé en 2015 des études de transportabilité (pré faisabilité) qui se poursuivront sur plusieurs années. Il convient, en effet, de vérifier la compatibilité des emballages envisagés<sup>192</sup> avec les caractéristiques des déchets et colis, ainsi qu'avec les installations de désentreposage et de réception à Cigéo.

À l'issue de ces études de pré faisabilité, des études de conception devront démarrer.

Les exploitants estiment que le planning de mise en service d'un nouveau type d'emballage de transport est compatible avec la date prévisionnelle de réception des premiers colis à Cigéo. En effet, l'application du rétro-planning type à ces typologies de colis de déchets, a montré qu'avec les flux du début du planning de livraison des colis des études d'avant-projet sommaire de Cigéo, les producteurs disposeront de premières flottes d'emballages de transport suffisantes pour les 10

<sup>192</sup> Cela n'exclut pas que des emballages non envisagés à ce jour puissent à l'avenir se révéler comme des solutions plus optimisées que celles présentement envisagées.

premières années de fonctionnement de Cigéo. Le démarrage des premières études de conception identifiées se situe à l'horizon 2017.

### Rétro-planning retenu par Areva, CEA et EDF

Les producteurs ont bâti un retro-planning type pour la mise à disposition des emballages de transport de colis de déchets à destination de Cigéo, suivant les principales étapes techniques suivantes :

- 1) définition, conception, développement des emballages de transport appropriés puis agrément de ces emballages par les autorités ;
- 2) acceptation formelle du contenu par les sites destinataires et les autorités ;
- 3) chargement des emballages / contrôles / expédition vers Cigéo ;
- 4) déchargement des emballages sur Cigéo / contrôles / expéditions des emballages vides vers les sites producteurs.

Le délai nécessaire aux études de définition, conception et fabrication de la tête de série d'un emballage est au moins de l'ordre de 7 à 9 ans avant la première mise en service et s'échelonne en moyenne de la façon suivante :

- expression de besoins, études de préféabilité, conception, établissement des dossiers de sûreté (dossier d'options de sûreté puis dossier de sûreté) et du programme d'essais (3 à 5 ans en moyenne selon la complexité du modèle de colis) ;
- expertise du dossier de sûreté, obtention du certificat d'agrément au modèle de colis (2 ans en moyenne) ;
- fabrication du 1<sup>er</sup> emballage tête de série (2 ans en moyenne).



Les producteurs de déchets prévoient d'adapter le rythme de fabrication des emballages par rapport au besoin (nombre d'emballages / échelonnement des mises en service). En cas de nécessité d'une flotte d'emballages plus importante, pouvant rallonger de plusieurs années les délais de mise à disposition, ils envisagent de faire appel à plusieurs chaînes de fabrication.

### Application du rétro-planning des producteurs aux besoins d'expédition à Cigéo

En première approche, les exploitants ont affecté en priorité des emballages agréés ou opérationnels aux colis de déchets dont les caractéristiques sont similaires à celles des colis dont le transport est effectif ou à l'étude vers d'autres filières/clients étrangers. L'utilisation d'emballages alternatifs à ceux indiqués dans les paragraphes suivants reste toutefois ouverte compte tenu, d'une part, de l'avancement des études de transport et des évolutions possibles de la réglementation et, d'autre part, de la recherche d'optimisations pour certains emballages d'Areva, du CEA et d'EDF.

À ce stade des études, les producteurs ont vérifié qu'une flotte suffisante d'emballages pourra être disponible pour assurer les transports des dix premières années d'exploitation de Cigéo dès lors que le démarrage des premières études de conception se situe à l'horizon 2017. Pour les années suivantes, les producteurs ne relèvent pas de difficultés particulières compte tenu principalement du caractère lointain des expéditions.

Le besoin initial de transport serait relatif, selon les producteurs de déchets, aux colis suivants :

- CSD-C depuis le site de La Hague,
- CBF-C'2 depuis le site de La Hague,
- colis de coques et embouts cimentés depuis le site de La Hague,
- colis de fûts de bitumes 380 litres EIP (MA-VL) depuis le site de Marcoule et les colis de fûts de bitumes 220 litres de la Hague,
- CSD-U depuis le site de La Hague,
- colis de verres de l'AVM et l'APM (HAO).

**R19 – Le planning établi par les producteurs de déchets HA et MA-VL pour les 15 premières années d'exploitation de Cigéo devra être mis et à jour et complété pour :**

- **Intégrer une marge sur le délai nécessaire aux études de conception, aux études d'agrément et à la fabrication du premier emballage, en se basant sur le retour d'expérience des développements d'emballages passés ;**
- **Intégrer la durée nécessaire à la réalisation des essais à blanc pour vérifier la recevabilité des nouveaux emballages ;**
- **Aller au-delà de la fabrication du premier emballage tête de série pour s'assurer de la bonne adéquation entre les flux de fabrication d'emballage et les besoins liés au transport vers l'installation de stockage.**

**R20 – Les producteurs de déchets HA et MA-VL transmettront, avant le 31 décembre 2017, une actualisation de cette étude conformément à la recommandation R19.**

Emballages retenus par Areva, CEA et EDF et études de préfaisabilité

*Cas des colis de déchets à expédier depuis le site Areva de La Hague*

Pour ce qui concerne les colis de déchets HAO CSD-U, Areva dispose déjà de modèles d'emballages qu'il exploite depuis de nombreuses années pour le retour de CSD-V vers ses clients étrangers. Areva a ainsi retenu le TN 28 VT, emballage qui, de manière plus générale, est la solution de transport de tous les colis de type CSD-V, CSD-U, CSD-B et conteneurs standards de déchets technologiques HA du site de La Hague. Areva envisage une étude réglementaire visant à garantir la conformité du modèle d'emballage aux évolutions éventuelles de la réglementation. De ce fait les études de préfaisabilité, ainsi que les études de conception seront largement plus limitées que pour la plupart des autres emballages. Il n'est pas noté de difficulté de planning à ce stade.

Pour ce qui est des colis CSD-C, l'emballage retenu est le TN ®843, dès la phase pilote du Cigéo. Cet emballage a obtenu un certificat d'agrément en juillet 2013 pour le transport de colis de type CSD-C des clients étrangers d'Areva, semblables à ceux qui seront à transporter vers Cigéo. Areva envisage une étude réglementaire visant à garantir la conformité du modèle d'emballage aux éventuelles évolutions de la réglementation. De ce fait, les études de préfaisabilité, ainsi que les études de conception, seront plus limitées que pour la plupart des autres emballages. Il n'est pas noté de difficulté de planning à ce stade.

Pour ce qui concerne les déchets MA-VL placés dans les colis CBF-C'2 et dans les autres colis de déchets cimentés, Areva l'emballage retenu est de type TN ®837. Areva a relancé les études de préfaisabilités de cet emballage qui n'avaient pas été achevées. De par sa faible capacité, qui laisse

présager un besoin important d'emballages et du fait de la priorité associées à ces colis dans l'ordonnancement des livraisons à Cigéo, Areva met la priorité sur les études de cet emballage.

Pour ce qui concerne les fûts de bitume, un emballage de type TN ®833 a été retenu. Là encore, sa conception avait été débutée puis abandonnée. Areva relance donc les études de transportabilité (pré faisabilité) de l'ensemble des fûts de bitume de type STE3 et STE2. Cet emballage est également retenu à ce stade pour les colis C5 et PIVIC, qui seront livrés en fin de la phase MA-VL du projet Cigéo.

Enfin, l'emballage de transport TN ®28 a été retenu à ce stade pour le transport des colis de déchets HA chauds CSD-V, ainsi que pour tous les conteneurs standards de déchets technologiques ou de démantèlement HA chauds du site de La Hague.

#### *Cas des colis de déchets à expédier depuis les sites du CEA de Marcoule, Cadarache et Valduc*

Le cas des colis des fûts d'enrobés bitumineux MA-VL de Marcoule est similaire à ceux des colis de même type à expédier depuis les sites d'Areva : une demande d'agrément d'un nouvel emballage sera nécessaire.

Le cas des colis de déchets vitrifiés du site de Marcoule est similaire à ceux des colis de déchets vitrifiés de Valduc, de déchets technologiques de l'atelier de vitrification de Marcoule (AVM) et de sources radioactives HA : les emballages envisagés sont des emballages ayant obtenu un agrément pour le même type de colis. Un emballage de type TN®28 VT a été identifié comme potentiellement utilisable pour quelques familles en termes de géométrie et de masse transportable. Cela concerne les conteneurs de verres HAO de l'AVM (dont la livraison vers Cigéo est prévue durant la phase pilote), les déchets vitrifiés de l'APM (verres PIVER et de laboratoire), les verres MA-VL de Marcoule et de Valduc, les verres d'Atalante, les conteneurs de déchets technologiques de l'AVM et les sources radioactives HA. L'utilisation d'autres emballages déjà agréés, comme par exemple un emballage de type TN ®843, est également examinée.

En ce qui concerne les colis de déchets MA-VL à livrer plus tardivement depuis les sites du CEA :

- il est également retenu l'hypothèse de l'utilisation d'un emballage de type TN ®833 pour transporter les fûts de 220 litres de déchets magnésiens de Marcoule (par 12) ainsi que les fûts EIP de 380 litres contenant des déchets cimentés de Marcoule ;
- pour quelques familles de colis, il est retenu l'hypothèse de l'utilisation d'un emballage agréé de type RD ®39 pour des colis de déchets divers, ainsi que d'un emballage de type IR 500 ou IR 800 pour les déchets se trouvant en conteneurs d'entreposage DIADEM. Pour la majorité des colis de déchets qui seront expédiés depuis Cadarache (les colis 870 litres, les colis 500 litres MI, les fûts de 220 litres, ...), des solutions de transport sont en cours de recherche par le CEA.

#### *Cas des colis de déchets à expédier depuis les sites d'EDF*

Pour ce qui concerne les déchets activés issus du fonctionnement des réacteurs REP et des déchets activés de démantèlement de la première génération de réacteurs d'EDF, la production des colis s'effectuera au sein de l'installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés (ICEDA), en cours de construction sur le site de Bugey. EDF indique qu'aucune étude de conception d'emballage de transport de ces colis n'a été réalisée à ce jour compte tenu de leur

date d'expédition lointaine et des évolutions probables de la réglementation transport d'ici cette date. Les études de conception d'emballage de transport pour ces colis seront lancées de sorte à disposer d'emballages de transport agréés et opérationnels dans des délais compatibles avec l'ordonnement des livraisons.

Pour ce qui concerne les déchets activés qui seront produits lors du démantèlement du parc REP aujourd'hui en exploitation, la gestion de ces déchets sera définie dans le cadre des études de démantèlement des premières tranches REP. Les études de conception d'emballage de transport pour la solution de colis retenue seront lancées de sorte à disposer d'emballages de transport agréés et opérationnels dans des délais compatibles avec l'ordonnement des livraisons.

#### Mode de transport jusqu'aux installations de Cigéo

La possibilité d'installer un terminal ferroviaire embranché dans le périmètre de l'installation de stockage Cigéo est privilégiée par l'Andra. Cette option est intéressante sur le plan industriel car elle permettrait d'éviter une rupture de charge et pourrait bénéficier à d'autres flux nécessaires au centre de stockage sur la période séculaire d'exploitation.

Le débat public organisé en 2013 a permis de recueillir un certain nombre d'avis sur cette thématique du transport. À la suite de ces contributions et compte tenu des scénarios d'expédition envisagés par les producteurs, l'Andra a confirmé ce scénario privilégié d'acheminement des colis à Cigéo par voie ferroviaire, avec une desserte par l'est du site grâce à la création d'un raccordement au réseau existant sur la commune de Gondrecourt-le-Château dans le département de la Meuse.

Les installations intégrées au centre de stockage seront décrites dans le dossier support à la demande d'autorisation de création de Cigéo.

**R21 – Des moyens de transbordement adaptés aux transports multimodaux retenus ou envisagés doivent être étudiés pour Cigéo.**

**R22 – Les producteurs de déchets HA et MA-VL, en lien avec l'Andra, remettront, avant le 31 décembre 2017, une étude sur l'optimisation des différents modes de transport envisagés à destination de Cigéo au regard des intérêts protégés définis à l'article L. 593-1 du code de l'environnement. Cette étude devra notamment présenter les moyens de transbordement adaptés aux transports multimodaux retenus ou envisagés.**

#### **4.2.6 Le stockage réversible en couche géologique profonde**

##### Principe

Le stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde consiste à mettre en place, sans intention de les reprendre, des colis de déchets radioactifs dans une installation souterraine implantée dans une couche géologique dont les caractéristiques permettent de confiner les substances radioactives contenues dans ces déchets. Une telle installation de stockage – contrairement aux installations d'entreposage – doit être conçue de telle sorte que la sûreté à long terme soit assurée de manière passive, c'est-à-dire sans dépendre d'actions humaines (comme des

activités de surveillance ou de maintenance) qui nécessitent un contrôle institutionnel dont la pérennité ne peut être garantie au-delà d'une période de temps limitée. Enfin, la profondeur des ouvrages de stockage doit être telle qu'ils ne puissent être affectés de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, changements climatiques, séismes...) ou par des activités humaines « banales ».

L'installation de stockage en couche géologique profonde doit par ailleurs être réversible. Ce point est abordé au paragraphe 4.2.7.

### Études et recherches sur le stockage en couche géologique profonde

L'Andra conduit les études et recherches concernant le stockage réversible dans la couche géologique des argilites du « Callovo-Oxfordien » investiguée au moyen du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne, en vue de choisir un site pour les différentes installations et de concevoir le centre de stockage. L'autorisation d'exploiter le Laboratoire a été renouvelée en 2011, pour une période allant jusqu'en 2030. Des éléments complémentaires sur les avancées des études et recherches menées au sein de ce laboratoire figurent en annexe 3 de ce PNGMDR.

### Conception d'une installation de stockage en couche géologique profonde

L'implantation de l'installation souterraine de stockage est étudiée dans une zone géographique de 30 km<sup>2</sup>, validée par l'État en 2010 après consultation des parties prenantes et avis de l'ASN, et qui a fait l'objet de travaux de reconnaissance approfondie. L'implantation des installations de surface est étudiée sur deux zones qui seraient exploitées simultanément. L'une de ces zones, située dans la zone interdépartementale, côté Haute-Marne, contiguë à la Meuse, assurerait notamment la réception et la préparation des colis de déchets avant leur transfert au fond par une « descenderie ». L'autre zone, qui serait localisée dans la zone géographique de 30 km<sup>2</sup> citée *supra*, serait située au débouché en surface des puits verticaux et permettrait notamment l'évacuation des déblais et la ventilation de l'installation souterraine.

La future installation de stockage en couche géologique profonde, baptisée « Cigéo », serait, sous réserve de son autorisation, construite et exploitée en souterrain sur plus de cent ans. Cette longue durée impose d'étudier un développement progressif des ouvrages de stockage par tranches successives qui seront creusées puis mises en exploitation les unes après les autres (cf. paragraphe 4.2.7). Ce développement par phases doit permettre, au cours de la construction et du fonctionnement du stockage, de faire évoluer les dispositions retenues dans les phases précédentes (concernant notamment la conception et les modalités d'exploitation prévues au moment du dépôt du dossier de demande d'autorisation). Cela doit ainsi permettre de prendre en compte :

- le retour d'expérience et les avancées scientifiques et technologiques (par exemple dans la conception, la construction ou les méthodes de remplissage des alvéoles de stockage) ;
- d'éventuels changements dans le scénario d'exploitation tel qu'envisagé du fait d'évolutions en termes de politique énergétique ou de choix industriels (conduisant par exemple à un stockage direct de combustibles usés) ou de considérations sociétales (par exemple si les opérations de fermeture sont différées plus ou moins longtemps).

## Le débat public et les suites qui lui ont été données

Un débat public sur le projet Cigéo a été organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP) du 15 mai au 31 juillet et du 1<sup>er</sup> septembre au 15 décembre 2013.

En tant que maître d'ouvrage du projet Cigéo, l'Andra a présenté dans ce cadre l'inventaire prévisionnel des déchets à stocker, les propositions de localisation des installations découlant des études de l'Andra et d'une concertation avec les acteurs locaux, un ensemble de propositions de l'Andra en matière de réversibilité et les résultats des études d'esquisse du projet (voir *infra*).

Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) a remis en mars 2013 son « *Rapport préalable au débat public sur le projet de stockage géologique profond de déchets radioactifs Cigéo* »<sup>193</sup>, qui a également été versé au débat. Ce rapport dresse un état des lieux sur les questions de l'inventaire des déchets radioactifs pris en compte par le projet Cigéo, au regard des choix de politique énergétique, et sur la transparence du processus décisionnel ayant conduit à la définition du projet Cigéo, notamment par rapport aux autres solutions possibles pour la gestion des déchets de haute activité. Parmi ses recommandations, le HCTISN a accueilli « *favorablement la proposition de l'ANDRA d'organiser régulièrement, par exemple tous les 10 ans, des rendez-vous avec l'ensemble des parties prenantes dans le cadre de la gouvernance du centre de stockage* ». Il a aussi estimé que « *une modification importante du centre de stockage, comme celle qui consisterait vers la fin du siècle à y stocker des combustibles usés non traités, justifierait une participation du public allant au-delà d'une enquête publique* ».

Bien que fortement perturbé par des opposants au projet lors de réunions publiques, le débat a été particulièrement riche avec plus de 76 000 visites sur son site internet, 1 508 questions, 497 avis, 154 « cahiers d'acteurs », 24 contributions plus détaillées, 5 délibérations d'assemblées locales. Le compte rendu et le bilan du débat public ont été publiés le 12 février 2014, ainsi que l'avis du panel de citoyens ressortant de la Conférence de citoyens organisée par la CNDP.

Les suites au débat public données par l'Andra par la délibération de son conseil d'administration en mai 2014 comprennent :

- quatre évolutions du projet : l'intégration d'une « phase industrielle pilote » au démarrage de l'installation ; la mise en place d'un plan directeur pour l'exploitation du stockage régulièrement révisé ; un aménagement du calendrier ; une plus grande implication de la société civile dans le projet ;
- une proposition sur la réversibilité : des définitions précises pour la réversibilité et la récupérabilité ; une approche par étapes ;
- trois engagements : garantir la sûreté avant tout ; préserver et développer le territoire d'accueil ; maîtriser les coûts.

### La phase industrielle pilote

Ainsi, l'Andra a annoncé qu'elle mettra en œuvre une phase industrielle pilote avant le passage de Cigéo en exploitation courante. En complément des essais réalisés au Laboratoire souterrain, cette phase industrielle pilote aurait notamment pour objectifs de conforter en conditions réelles :

- les mesures et dispositions techniques prises pour maîtriser les risques d'exploitation ;
- la performance des équipements industriels ;
- la capacité à retirer des colis de déchets stockés, dans le cadre d'essais de retrait ;
- les moyens et capteurs permettant la surveillance du stockage ;
- les techniques de scellement, dans le cadre d'essais et de démonstrateurs.

---

<sup>193</sup> Ce rapport du 28 mars 2013 est disponible sur le site internet du HCTISN : <http://www.hctisn.fr>.

Le passage à l'exploitation courante de Cigéo n'interviendrait alors qu'après l'établissement par l'Andra d'un bilan de la phase industrielle pilote. Les modalités de passage de la phase industrielle pilote à la phase d'exploitation courante restent à définir et encadrer.

La « phase industrielle pilote » prévue par l'Andra doit permettre de réaliser une « montée en puissance » progressive de l'installation de stockage et de réaliser des démonstrateurs *in situ* permettant de mener des tests à une échelle représentative des ouvrages à réaliser.

**R23 – La phase industrielle pilote devra se concentrer sur l'acquisition des éléments visant à conforter la démonstration de sûreté nucléaire de l'installation. À ce titre, l'Andra devra justifier la quantité et la nature des colis nécessaires pour que la phase industrielle pilote puisse démontrer la capacité de l'installation à fonctionner à une cadence industrielle de stockage. Pendant la « phase industrielle pilote », la récupérabilité des colis de déchets radioactifs stockés devra être démontrée.**

**R24 – L'Andra et les producteurs de déchets radioactifs devront prendre en compte cette « phase industrielle pilote » dans l'établissement des chroniques de livraison des colis en vue de leur stockage en couche géologique profonde.**

#### Les études d'avant-projet

Après une vingtaine d'années d'études et de recherches ayant permis d'évaluer la faisabilité scientifique et technique du stockage des déchets HA et MA-VL dans la couche d'argilites du Callovo-Oxfordien, l'Andra a lancé en 2010 une phase d'études visant à élaborer un avant-projet de Cigéo. Pour cela, l'Andra qui sera l'exploitant de Cigéo, a retenu en janvier 2012 une maîtrise d'œuvre système pour les études d'esquisse des installations, puis lui a adjoint en 2013 des maîtrises d'œuvre sous-système pour mener les études d'avant-projet.

Une esquisse industrielle de l'ensemble des installations de Cigéo a ainsi été établie, correspondant aux hypothèses d'inventaire et d'ordonnement des livraisons de colis de déchets du programme industriel de gestion des déchets (PIGD), établi par les producteurs de déchets en lien avec l'Andra. Parallèlement, l'Andra a élaboré une définition préliminaire des conteneurs de stockage dans lesquels les conteneurs primaires livrés par les producteurs de déchets seront inclus avant d'être placés dans les alvéoles de stockage. À la suite d'une analyse de la valeur et d'études d'optimisations menées à partir de l'esquisse, l'Andra a effectué des choix structurants d'options de conception mi-2014.

En application du processus de revue externe du projet initié en 2011 par le ministre chargé de l'énergie, les résultats de l'étude d'esquisse ont été soumis à une revue avant le lancement des études d'avant-projet sommaire. Des résultats intermédiaires de l'esquisse ont également été instruits par l'ASN, qui a notamment examiné la prise en compte des remarques et recommandations qu'elle avait formulées en 2011 dans le cadre de l'instruction du dossier « Jalon 2009 » de l'Andra. L'ASN a constaté<sup>194</sup> que l'Andra a tenu compte de ses principales recommandations à propos des risques en fonctionnement et a considéré que certains nouveaux

---

<sup>194</sup> Cf. courrier de l'ASN à l'Andra du 18 novembre 2013 (référéncé CODEP-DRC-2013-033414), disponible sur le site internet de l'ASN : <http://www.asn.fr>.

éléments de conception sont à même de renforcer la sûreté en fonctionnement de l'installation. L'ASN a souligné aussi que certaines options choisies par l'Andra nécessiteront d'être justifiées en détail et leur influence sur la sûreté explicitée dans le cadre du futur dossier de demande d'autorisation de création de l'installation.

Les études d'avant-projet sommaire se sont déroulées jusqu'en 2015 ; les résultats ont été examinés par une nouvelle revue externe. Parallèlement, le PIGD sera mis à jour en 2016 par les producteurs de déchets et l'Andra. Un ensemble de voies d'opportunités portant sur la conception des futures installations ont été identifiées pour la suite du projet, dans une recherche d'optimisation technique et économique, dans le respect du niveau de sûreté attendu. Certaines de ces pistes sont à instruire par l'Andra afin de pouvoir, le cas échéant, les mettre en œuvre industriellement dès la construction de Cigéo. Certaines nécessitent aussi des études, recherches et essais à mener par l'Andra avant une mise en œuvre industrielle : ces travaux préalables seront réalisés pour partie au Laboratoire souterrain et pour partie en situation réelle dans l'installation souterraine de Cigéo, notamment dans le cadre de la « phase industrielle pilote ». Dans tous les cas la compatibilité de ces pistes avec les exigences de sûreté et de réversibilité devra être assurée.

Les études d'avant-projet définitif doivent se dérouler jusqu'à fin 2017.

#### La poursuite des autres études et recherches

Ces études et recherches comportent un important volet expérimental au Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne, complété par des essais réalisés en surface et reproduisant les conditions d'environnement souterrain. Elles comprennent notamment la poursuite *in situ* d'observations scientifiques sur les interactions physiques et chimiques entre les argilites et les futurs ouvrages de stockage. Un effort particulier a été consacré aux méthodes de construction des alvéoles de stockage et des galeries (creusement et revêtement) ainsi qu'aux techniques de fermeture. Concernant ces dernières, l'ASN a instruit en 2014 un dossier *ad hoc* remis par l'Andra. En particulier, l'ASN y note<sup>195</sup> que « l'Andra a globalement fait évoluer les concepts des dispositifs de fermeture et les programmes de recherche afférents dans un sens favorable à l'obtention, à l'échéance du dépôt de la demande d'autorisation de création, d'éléments probants quant à leur faisabilité. Ainsi, à ce stade, aucune difficulté majeure n'a été relevée quant à la faisabilité industrielle des concepts de référence retenus pour les ouvrages de fermeture. » Elle relève certains points qui restent à préciser dans le cadre de la poursuite des études et recherches.

L'Andra a considéré, dans les études qu'elle a menées en lien avec l'exercice de la réversibilité, que les colis de stockage retirés du stockage ne sont pas dégradés. Il paraît prudent de considérer dans les études le cas où les colis de déchets radioactifs qui seraient retirés du stockage pourraient présenter des caractéristiques dégradées du fait de leur vieillissement en situation de stockage mais aussi de scénarios accidentels éventuels.

**R25 – L'Andra étudie les modalités de gestion de colis de déchets MA-VL dégradés qui auraient été retirés du stockage.**

<sup>195</sup> Cf. courrier de l'ASN à l'Andra du 9 octobre 2014 (référéncé CODEP-DRC-2014-039040), disponible sur le site internet de l'ASN : <http://www.asn.fr>.

## Évaluation du coût du projet Cigéo

La procédure d'évaluation du coût de gestion à long terme des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue est précisée par l'article L. 542-12 du code de l'environnement : « l'agence [Andra] propose au ministre chargé de l'énergie une évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue selon leur nature. Après avoir recueilli les observations des redevables des taxes additionnelles mentionnées au V de l'article 43 de la loi de finances pour 2000 (n° 99-1172 du 30 décembre 1999)<sup>196</sup> et l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, le ministre chargé de l'énergie arrête l'évaluation de ces coûts et la rend publique. » Cette évaluation est intégrée au calcul, par les exploitants nucléaires, des charges de gestion à long terme de leurs déchets radioactifs ne pouvant, pour des raisons de sûreté ou de radioprotection être stockés en surface ou à faible profondeur. Ainsi, l'article L. 594-1 du code de l'environnement dispose que « les exploitants d'installations nucléaires de base évaluent, de manière prudente, [...] en prenant notamment en compte l'évaluation fixée en application de l'article L. 542-12, les charges de gestion de leurs combustibles usés et déchets radioactifs. »

Après plusieurs années de travail, l'Andra a transmis en octobre 2014 un dossier de chiffrage à la ministre chargée de l'énergie<sup>197</sup>. Celle-ci a sollicité les producteurs de déchets pour recueillir leurs observations ainsi que l'avis de l'ASN. L'ASN a rendu son avis le 10 février 2015<sup>198</sup>. À l'issue de cette consultation, la ministre chargée de l'énergie a arrêté le 15 janvier 2016 le coût de Cigéo à 25 Mds€ aux conditions économiques du 31 décembre 2011 pour la période 2016-2156. L'arrêté ministériel précise que cette évaluation devra être mise à jour régulièrement et a minima aux étapes clés du développement du projet (autorisation de création, mise en service, fin de la phase industrielle pilote, réexamens de sûreté). Les documents relatifs à cette décision sont en ligne sur le site du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer<sup>199</sup>.

L'évaluation du coût, à hauteur de 25 Mds€<sub>2011</sub> intègre les incertitudes inhérentes à une évaluation sur une période si longue (évolution des coûts du travail, des matériaux, de l'énergie et progrès technologiques sur 140 ans...) en prenant en compte des optimisations techniques de long terme et des efforts de productivité de l'Andra selon une approche statistique. Elle constitue un objectif à atteindre par l'Andra dans la gestion de son projet et demande à l'agence de rechercher une logique d'optimisation du projet. L'Andra doit ainsi rester mobilisée sur les principales pistes d'optimisation identifiées, dans le respect des exigences de sûreté fixées par l'ASN.

**R26 – Conformément à l'article 2 de l'arrêté du 15 janvier 2016 relatif au coût afférent à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue, il conviendra de réaliser une mise à jour périodique de l'évaluation du coût du stockage en couche géologique profonde, notamment lors des étapes clés du développement du projet.**

<sup>196</sup> Il s'agit des exploitants de réacteurs nucléaires (qu'ils soient consacrés à la production d'énergie ou à la recherche) et d'usines de traitement de combustibles nucléaires usés soient Areva, le CEA, EDF et l'ILL.

<sup>197</sup> Ce dossier en deux tomes : Évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue », est disponible sur le site internet de l'Andra : <http://www.andra.fr>.

<sup>198</sup> L'avis n° 2015-AV-0227 de l'ASN du 10 février 2015 relatif à l'évaluation des coûts afférents au projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

<sup>199</sup> Ces documents sont consultables à l'adresse suivante : [www.developpement-durable.gouv.fr/Le-processus-d-evaluation-du-cout.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-processus-d-evaluation-du-cout.html).

## 4.2.7 Le principe de réversibilité

### Présentation de la réversibilité

Si le stockage profond permet de limiter les charges pesant sur les générations futures, sa réversibilité vise à ne pas enfermer ces dernières dans les choix effectués par la génération actuelle.

Comme prévu par la loi du 28 juin 2006, le Parlement a inscrit dans la loi des précisions sur les modalités de mise en œuvre du principe de réversibilité pour Cigéo. La loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue apporte ainsi une définition de la réversibilité applicable à Cigéo et précise les modalités de sa mise en œuvre.

La réversibilité y est définie comme « *la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion* ».

La loi précise en outre que « *La réversibilité est mise en œuvre par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets consécutives notamment à une évolution de la politique énergétique. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérentes avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage. Le caractère réversible d'un stockage en couche géologique profonde doit être assuré dans le respect de la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1. Des revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité dans un stockage en couche géologique profonde sont organisées au moins tous les cinq ans, en cohérence avec les réexamens périodiques prévus à l'article L. 593-18.* »

L'Andra propose de fonder la mise en pratique du principe de réversibilité sur un ensemble d'outils relevant de la gouvernance du stockage ou à caractère technique.

Les outils de gouvernance sont les suivants :

- l'amélioration continue des connaissances en matière de gestion des déchets radioactifs (notamment par la réalisation dans l'installation Cigéo d'essais et de mesures spécifiques pendant et au-delà de la phase industrielle pilote, la valorisation des données issues de la surveillance et l'établissement et la publication périodiques de bilans des connaissances) ;
- la transparence et la transmission des informations et des connaissances ;
- la participation de la société aux décisions prises pour le développement du stockage (dans le cadre de la tenue à jour du plan directeur de l'exploitation de Cigéo) ;
- le contrôle par l'État et les évaluateurs sous la supervision du Parlement.

Les outils techniques de conduite du projet en appui à la réversibilité sont :

- le développement incrémental et la progressivité de la construction des installations de Cigéo ;
- la flexibilité offerte par leur exploitation (*i.e.* la capacité de l'installation à s'adapter à des variations du programme industriel - chronique de réception, flux de réception, date de

- fermeture partielle - sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction d'ouvrages nouveaux) ;
- l'adaptabilité des installations (*i.e.* la capacité à modifier l'installation pour l'adapter à de nouvelles hypothèses de dimensionnement, par exemple des évolutions d'inventaire, impliquant des modifications notables des équipements existants ou des constructions d'ouvrages nouveaux) ;
  - la récupérabilité des colis de déchets stockés.

Ces outils contribuent aux prises de décisions concernant la gestion des déchets radioactifs. Ils permettent notamment de conserver ou d'ouvrir au cours du temps les différents choix possibles. Le coût des dispositions techniques prises pour permettre la réversibilité (coût permettant d'offrir des options aux générations futures) est intégré au projet. Les générations actuelles offrent ainsi aux générations suivantes des possibilités et des facilités d'action sur le processus de stockage. Toutefois, si les générations suivantes décidaient d'exercer cette option, par exemple de modifier le stockage ou retirer les colis, elles auraient à en supporter la charge.

En amont du débat parlementaire de juillet 2016 sur la réversibilité de Cigéo, l'ASN s'est positionnée officiellement sur le sujet. Elle a souligné dans son avis<sup>200</sup> du 31 mai 2016 que le principe de réversibilité doit se traduire par une exigence d'adaptabilité de l'installation, qui doit pouvoir évoluer durant son fonctionnement (afin, par exemple, de s'adapter à des évolutions d'inventaire liées à un changement de politique énergétique) et par une exigence de récupérabilité des colis, qui doivent pouvoir être retirés du stockage pendant une période donnée dans des conditions de sûreté et de radioprotection satisfaisantes.

#### Récupérabilité des colis de déchets radioactifs

La capacité d'exercice de la récupérabilité pourrait potentiellement entrer en conflit avec le respect des objectifs de sûreté et de radioprotection. Pour éviter cet écueil, il convient que l'Andra anticipe l'exercice de la récupérabilité. À ce titre, elle devra, dès la conception prévoir les modalités de récupération des colis puis de gestion des colis retirés dans les installations de surface et démontrer que ces opérations peuvent être menées dans des conditions de sûreté et de radioprotection acceptables. Elle devra également prendre des marges suffisantes dans le dimensionnement de l'installation pour s'assurer qu'un vieillissement prématuré des ouvrages n'aura pas d'effet rédhibitoire sur la capacité d'exercice de la récupérabilité. Enfin, ces exigences de récupérabilité devront être traduites dans les spécifications d'acceptation des colis de déchets radioactifs.

---

<sup>200</sup> Avis n° 2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde.

#### 4.2.8 Les études d'adaptabilité (déchets susceptibles d'être stockés en couche géologique profonde)

##### Inventaire de référence et réserves

L'Andra conçoit Cigéo de façon à ce que l'installation puisse être gérée de manière flexible dans le temps et que la conception des ouvrages puisse évoluer au fur et à mesure de leur construction par tranches successives (voir paragraphe 4.2.7). Cette flexibilité et cette adaptabilité seront détaillées dans la proposition de plan directeur d'exploitation (PDE) que l'Agence doit remettre à l'État à l'issue des études d'avant-projet sommaire. Sur cette base, le PDE pourra ainsi être mis à jour régulièrement pendant toute la durée d'exploitation séculaire de Cigéo et prendre en compte d'éventuelles évolutions en matière d'inventaire des déchets stockés, particulièrement dans le cas d'une évolution de la politique énergétique.

L'Andra doit, en tant que futur exploitant d'une installation nucléaire de base, définir l'inventaire des déchets retenu pour établir le dossier de demande d'autorisation de création. L'article 17 du décret du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du PNGMDR 2013-2015 précise que : « *sans préjudice des résultats de l'instruction relative à l'acceptation en stockage des déchets, le périmètre des déchets à retenir par l'Andra pour la demande d'autorisation de création du centre de stockage est précisé, en tant que de besoin, après avis de l'ASN et de l'Andra, par arrêté du ministre chargé de l'énergie* ». Dans ce dossier de demande d'autorisation de création, l'Andra devra apporter la démonstration de la sûreté du stockage des déchets appartenant à cet inventaire de référence.

Pour autant, l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement dispose que « *les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde* ». Ainsi, dans une démarche de précaution, de sûreté et de transparence, il est nécessaire que l'Andra conduise en amont de la demande d'autorisation de création de Cigéo des études permettant de vérifier que la conception de Cigéo ne présente pas de caractère rédhibitoire à l'acceptation éventuelle de déchets radioactifs issus des installations actuelles susceptibles de nécessiter un tel stockage et qui ne seraient pas inclus dans l'inventaire de référence considéré par l'Andra. Ces déchets correspondent aux réserves définies comme suit à l'article 17 du décret du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du PNGMDR : « *Le périmètre des déchets à retenir par l'Andra pour le centre de stockage en projet Cigéo comprend un inventaire et des réserves. Les réserves visent à prendre en compte, par précaution, les incertitudes liées notamment aux stratégies industrielles ou la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets.* »

Les typologies et quantités de déchets constituant les réserves pourront être définies par le ministre chargé de l'énergie. Cette approche élargie doit permettre de couvrir d'éventuelles évolutions qui pourraient être consécutives :

- à des décisions prises à l'avenir en matière de politique énergétique ou industrielle (par exemple, allongement de la durée de fonctionnement ou fermeture anticipée des réacteurs électrogènes d'EDF) et à une requalification en déchets radioactifs de matières radioactives (et notamment les combustibles usés issus des réacteurs électrogènes d'EDF ou encore ceux issus de la propulsion nucléaire navale ainsi que des réacteurs de tests et recherche du CEA) ;

- à la réorientation de déchets dont l'acceptation dans les installations de stockage en faible profondeur n'est pas garantie.

Des études sur les réserves devront être jointes au dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo déposé par l'Andra. Elles devront intégrer :

- une esquisse des concepts retenus pour leur stockage ainsi que des éléments démontrant sommairement la faisabilité d'une démonstration de sûreté ;
- la démonstration que la conception retenue pour l'installation de stockage dont la création est prévue préserve la possibilité technique de leur accueil ;
- des éléments présentant les modifications éventuelles à apporter aux installations « support » (descenderies, galeries d'accès, installations de surface, ventilation...) et leur impact potentiel sur la démonstration de sûreté de l'installation ;
- les jalons d'un programme de R&D qui permettrait de disposer, en temps voulu, de la démonstration complète de la sûreté de leur stockage.

En tout état de cause, les déchets faisant partie de l'inventaire de référence (ou partie de celui-ci en fonction des éléments de démonstration apportés) pourraient, seuls, faire l'objet d'une autorisation<sup>201</sup>. Ainsi, une extension du stockage à tout ou partie des déchets inclus dans les réserves au moment de la demande de décret d'autorisation de création (DAC) de l'installation nécessitera toujours une nouvelle procédure complète d'autorisation, incluant une enquête publique.

**R27 – L'Andra remet avant le 31 mars 2017 au ministre chargé de l'énergie une proposition de types et de quantités de déchets à inclure dans les réserves.**

**Par ailleurs, en accord avec la recommandation R7 du chapitre 4.1 (gestion des déchets FA-VL) et à titre de précaution, l'Andra, en lien avec les producteurs, peut inclure certaines réserves FA-VL dans l'inventaire qui sera soumis dans le cadre de la demande de décret d'autorisation de création de Cigéo et dans la démonstration de sûreté associée sans pour autant que l'envoi de ces déchets dans Cigéo ne soit considéré comme la solution de référence.**

#### Focus sur les études relatives au stockage des combustibles usés

L'adaptabilité de Cigéo s'applique particulièrement au cas d'une évolution de la politique énergétique qui conduirait à ne pas retraiter certains combustibles usés et à les reclasser de matières en déchets. Si la demande d'autorisation de Cigéo ne couvre pas le stockage direct de combustibles usés non retraités, ce qui impliquera le cas échéant de formuler une nouvelle demande d'autorisation (et donc une nouvelle enquête publique), l'Andra vérifie l'absence de caractère rédhibitoire du projet vis-à-vis d'une évolution éventuelle. Pour cela elle procède à la mise à jour de l'évaluation de faisabilité du stockage direct qu'elle avait présentée en 2005, en prenant en compte les évolutions de connaissances intervenues depuis cette date.

<sup>201</sup> Pour aller plus loin : l'avis n°2013-AV-0179 de l'ASN du 16 mai 2013, dans sa version consolidée au 30 mai 2013, est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

Une première phase d'étude a été consacrée à la mise à jour des hypothèses et données d'entrée structurantes de l'étude : scénarios énergétiques, inventaires et caractéristiques des combustibles à considérer, conditionnement des assemblages combustibles, ordonnancement et flux prévisionnels de livraison et mise en stockage. Ces hypothèses et données, définies en collaboration avec EDF, ont été présentées dans le rapport d'étape remis par l'Andra à l'État fin 2012.

En parallèle à ces travaux, l'Andra a procédé au réexamen des concepts de colis et d'alvéoles de stockage de combustibles usés du dossier 2005. Une cohérence avec les concepts développés pour les déchets HA de Cigéo a été recherchée.

Les études menées dans la période 2013-2015 ont porté principalement sur les combustibles issus des réacteurs REP (MOx, URE et UOx). Elles couvrent différentes thématiques dans les domaines scientifiques, de la sûreté-criticité et de l'ingénierie et montrent la compatibilité du projet Cigéo avec un éventuel stockage direct de combustibles usés. Ces études ont donné lieu à la production d'un rapport de synthèse qui devrait être remis en 2016.

En 2016 et 2017, l'Andra prévoit de compléter ces études par l'approfondissement de points techniques particuliers identifiés dans le rapport de synthèse et de les étendre à d'autres types de combustibles usés (combustibles CEA civils et militaires, combustibles EDF/EL4, combustibles Superphénix).

Comme cela est indiqué dans le chapitre 2 (§2.2.2 et 2.2.3), EDF provisionne pour les combustibles URE et MOx usés, les dépenses pour son entreposage et son stockage direct. La dernière évaluation du coût d'un stockage direct de combustibles usés date de 2005.

Pour les autres déchets constituant les réserves, aucune évaluation n'est encore disponible

**R28 – L'Andra procède régulièrement à l'évaluation du coût afférant au stockage de déchets appartenant aux réserves.**

**R29 – Au titre de l'adaptabilité de Cigéo, l'Andra remet avant le 30 juin 2018 au ministre chargé de l'énergie une évaluation du coût afférant au stockage direct des combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires ou des réacteurs expérimentaux comme ceux de la propulsion nucléaire navale. Cette évaluation sera soumise pour avis à l'ASN et pour observations aux détenteurs de ces combustibles usés.**

### 4.3 La gestion des déchets nécessitant des travaux spécifiques

Certaines catégories de déchets radioactifs nécessitent la mise en place de filières de gestion spécifiques compte tenu de leurs propriétés. C'est notamment le cas des déchets contenant du tritium (dits déchets tritiés) et des sources scellées usagées, ainsi que des déchets radioactifs issus des petits producteurs hors électronucléaire qui représentent de très faibles quantités.

La majorité des déchets tritiés ne peut être accueillie directement dans les centres de stockage de surface en raison de la forte mobilité du tritium à travers les milieux. La création sur une quarantaine d'années de nouvelles installations d'entreposage par le CEA apporte une solution satisfaisante du point de vue de la sûreté à court et moyen terme dans l'attente de leur future prise en charge dans les installations de stockage. Les travaux relatifs à l'identification de filières de gestion, initiés dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, nécessitent d'être poursuivis pour les déchets tritiés liquides et gazeux issus des petits producteurs hors électronucléaire. **Le PNGMDR 2016-2018 demande au CEA et Socodei, en lien avec l'Andra, de présenter, pour fin 2017, une analyse relative à la comparaison, pour différentes typologies de déchets tritiés, sur le plan de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement, de différentes solutions de gestion des déchets tritiés comprenant l'entreposage, l'incinération (avec ou sans entreposage préalable) et le stockage direct.**

La plupart des sources scellées usagées est actuellement entreposée dans l'attente d'une solution définitive de gestion. Compte tenu de leur activité concentrée et de leur caractère potentiellement attractif, seule une petite partie des sources scellées usagées peut être stockée sur le centre de stockage de l'Aube. **Le PNGMDR 2016-2018 demande à l'Andra d'étudier la possibilité, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement, de faire évoluer les spécifications d'acceptation de ses installations pour accepter certaines catégories de sources scellées usagées.**

**À fin 2013, quelques autres déchets de natures diverses, représentant moins de 0,3 % du volume des déchets produits, ne peuvent être rattachés à des filières existantes ou en projet, en raison par exemple d'insuffisance de caractérisation, des caractéristiques physiques ou chimiques particulières des déchets ou de l'absence de modalités de traitement ou de conditionnement des déchets avant leur stockage. Le PNGMDR 2016-2018 demande de poursuivre les études relatives au traitement de ces déchets et fixe un objectif à 2030 pour la définition d'une filière de gestion définitive pour l'ensemble des déchets sans filière produits avant fin 2015.**

#### 4.3.1 Gestion des déchets actuellement sans filière

La très grande majorité des déchets radioactifs dispose d'une filière de gestion existante ou relève d'un projet de filière aujourd'hui à l'étude. **À fin 2013, moins de 0,3 % du volume des déchets produits ne peut être rattaché à des filières existantes ou en projet** en raison par exemple d'insuffisance de caractérisation, des caractéristiques physiques ou chimiques particulières des déchets ou de l'absence de modalités de traitement ou de conditionnement des déchets avant leur stockage.

Pour définir des filières de gestion adaptées à une partie de ces déchets, des études sont menées au sein d'un groupe de travail mis en place dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 et poursuivies sur la période 2013-2015.

Dans la première phase (2010-2012), ce groupe de travail s'est attaché à adopter une démarche exhaustive comprenant une première tâche de consolidation de l'inventaire des déchets actuellement sans filière, complétée de l'examen détaillé de l'ensemble de ces déchets. L'analyse de l'inventaire ainsi réalisée a permis au groupe de travail d'identifier trois catégories de déchets qualifiés de « prioritaires », en raison des volumes importants qu'ils représentent et des avantages que présente une mutualisation entre producteurs des réflexions et études. Il s'agit de déchets qui nécessitent des modalités de traitement et de conditionnement avant leur stockage, notamment :

- de déchets contenant de l'amiante libre qui ne sont, en l'état, pas acceptés en stockage, compte tenu de leur forte capacité de remise en suspension et des exigences vis-à-vis des conditions d'exploitation et des scénarios de sûreté à long terme,
- de déchets contenant du mercure susceptible de se volatiliser ou de se lixivier, en fonction des conditions physico-chimiques,
- de certaines huiles et liquides organiques qui ne sont pas compatibles avec les spécifications d'acceptation de l'installation d'incinération Centraco.

La période 2013-2015 a été consacrée à la poursuite de ces travaux. Les études menées ont permis les trois avancées détaillées ci-après.

#### **4.3.3.1 Déchets contenant de l'amiante libre**

Des spécifications pour l'acceptation en stockage de déchets amiantés au Cires et au CSA sont en cours de finalisation par l'Andra.

**R1 – Dès l'entrée en vigueur de la mise à jour des spécifications d'acceptation du Cires et du CSA relatives à l'acceptation de déchets contenant de l'amiante, ces déchets pourront être retirés de la liste des déchets « sans filière » et déclarés dans les filières de gestion appropriées lors de leur prochaine déclaration à l'Inventaire national.**

**I1 – Suivi de la quantité d'amiante stockée au Cires et au CSA afin de vérifier la compatibilité des possibilités de stockage avec les déchets produits et à produire.**

#### **4.3.3.2 Déchets contenant du mercure**

Un procédé de stabilisation du mercure métallique par le soufre a été testé sur des quantités représentatives de déchets (jusqu'à 6 kg). Ce procédé produit un déchet stabilisé qui devra satisfaire aux spécifications d'acceptation au Cires et au CSA. Il est adapté au traitement des déchets liquides contenant du mercure métallique. Pour les autres déchets mercuriels, des études de R&D sont toujours en cours.

**R2 – L'Andra, sur la base d'éléments fournis par Areva, le CEA et EDF relatifs aux propriétés des colis de déchets qui pourraient ainsi être produits par ce procédé de stabilisation du mercure métallique, doit confirmer, d'ici fin 2017, l'acceptabilité du point de vue de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement, du mercure métallique stabilisé par le soufre dans les centres de stockage existants et, le cas échéant,**

mettre à jour les spécifications d'acceptation de ses installations pour en préciser les modalités.

**R3 – Areva, le CEA et EDF, en lien avec l'Andra, doivent poursuivre les études sur les modalités de traitement/conditionnement des autres types de déchets mercuriels pour lesquels une filière de gestion n'est pas encore définie.**

**R4 – Lors de la prochaine déclaration à l'Inventaire national, Areva, le CEA et EDF devront distinguer les déchets contenant du mercure métallique pouvant être traités par le procédé susmentionné des autres déchets mercuriels. Les déchets pouvant être traités ne seraient donc plus déclarés comme « sans filière » sous réserve de l'entrée en vigueur de la mise à jour des spécifications d'acceptation du Cires et du CSA.**

#### **4.3.3.3 Huiles et liquides organiques**

Trois procédés spécifiques, de maturité technologique variable, ont été développés pour le traitement des huiles et liquides organiques, en fonction de leurs caractéristiques. Un procédé de traitement par mélange à des polymères déjà sur le marché est notamment envisagé. Ce procédé produit un déchet stabilisé dont l'acceptation à Centraco et dans les centres de stockage de l'Andra doit être vérifiée.

**R5 – Areva et le CEA, en lien le cas échéant avec l'Andra ou Socodei, doivent fournir d'ici fin 2017 un point d'avancement relatif au développement et à la mise en œuvre des procédés envisagés pour le traitement des huiles et liquides organiques, et notamment :**

- poursuivre les études sur le traitement par mélange à des polymères et s'assurer de leur acceptation à Centraco et sur les centres de stockage de l'Andra. La filière de gestion retenue (incinération préalable au stockage ou stockage direct) devra notamment être justifiée au regard des risques présentés pour la sécurité, la santé, la salubrité publique et la protection de la nature et de l'environnement ;
- identifier l'inventaire des déchets pouvant être traités dans les différents procédés développés par le CEA et Areva et justifier la filière de gestion retenue.

**R6 – EDF et l'Andra doivent étudier l'acceptabilité des déchets de ce type qu'ils détiennent dans les filières mises en place par Areva et le CEA.**

**R7 – Le traitement et le conditionnement des huiles et liquides organiques doivent être entrepris au plus tôt dès la mise en place de filières adaptées.**

**I2 – Pourcentage de traitement des déchets de type huiles et liquides organiques produits avant 2015 (objectif de 50 % à 2025 et de 100 % à 2035).**

En complément des catégories de déchets susmentionnées, des travaux ont été initiés par l'Andra sur les pièces activées des accélérateurs linéaires de radiothérapie et des cyclotrons de production de radiopharmaceutiques ou de recherche. Ces déchets nécessitent en effet des efforts de caractérisation afin d'évaluer leurs propriétés radiologiques, et tout particulièrement leur inventaire en émetteurs  $\beta$  à vie longue, en vue de définir leur filière de gestion.

**R8 – L'Andra doit fournir d'ici fin 2017 un état d'avancement relatif à la prise en charge des déchets activés des petits producteurs.**

**R9 – De façon conservatoire, les déchets activés des petits producteurs doivent être identifiés, et par conséquent déclarés, dans la catégorie des déchets sans filière à l’Inventaire national.**

**I3 – a : Pourcentage de simulations et d’études expérimentales permettant de définir un traceur ainsi que les spectres bêta vie longue de ces déchets (objectif de 100 % en 2018)<sup>202</sup> ;**

**b : Pourcentage de déchets activés des petits producteurs produits avant 2015 faisant l’objet d’une filière de gestion définitive (objectif de 100 % en 2030).**

D’autres déchets sans filière produits dans les installations nucléaires et n’entrant pas dans les catégories ci-avant présentent de faibles quantités et des caractéristiques physiques ou radiologiques variées. Les études visant à développer des procédés de traitement en vue de leur acceptation en stockage sont notamment présentées dans le cadre des stratégies de gestion des déchets des exploitants. Ces documents sont périodiquement examinés par l’ASN et l’ASND.

**R10 – Les avancées relatives à la définition de filières sont à présenter lors d’une réunion du groupe de travail du PNGMDR.**

**I4 – Pourcentage de déchets sans filière produits avant 2015 faisant l’objet d’une filière de gestion définitive (objectif : la définition d’une filière de gestion définitive pour l’ensemble des déchets sans filière produits avant 2015 est attendue d’ici à 2030).**

#### 4.3.2 La gestion des déchets contenant du tritium

L’essentiel des déchets tritiés produits en France sont des déchets de fonctionnement et de démantèlement des installations liées aux applications militaires du CEA, le reste provenant des petits producteurs hors électronucléaire, essentiellement issus d’activités liées à la recherche ou du secteur pharmaceutique et hospitalier, intégrant également les déchets de la défense nationale hors dissuasion nucléaire (objets contenant du tritium – équipements de visée nocturne par exemple). La part des déchets provenant des petits producteurs représente à fin 2013 un peu plus de 100 m<sup>3</sup> pour un inventaire estimé de l’ordre de 150 TBq.

Une augmentation significative de l’inventaire des déchets tritiés produits en France est projetée, en lien avec la mise en service de l’installation de fusion ITER. Ainsi, pour l’ensemble des producteurs, l’inventaire des déchets tritiés nécessitant un entreposage avant stockage atteindrait à l’horizon de 2060 un volume de l’ordre de 30 000 m<sup>3</sup> pour une activité radiologique en tritium d’environ 35 000 TBq.

Ces déchets sont regroupés en fonction de leur inventaire en tritium et plus particulièrement de leur dégazage :

- les déchets tritiés de très faible activité (déchets tritiés purs ou mixtes),
- les déchets tritiés purs peu dégazants,
- les déchets tritiés purs dégazants,
- les déchets alpha tritiés,
- les déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie courte,

---

<sup>202</sup> Cet indicateur permet de suivre les avancées en termes de caractérisation des déchets activés des petits producteurs ; la caractérisation constituant un préalable à la définition d’une filière de gestion adaptée.

- les déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie longue.

Les déchets contenant du tritium en quantités significatives nécessitent une gestion spécifique en raison de son caractère très mobile. Le tritium, de période courte (12,3 ans), se confie difficilement et peut migrer dans la biosphère. L'acceptation des déchets tritiés dans les centres de stockage de l'Andra est limitée, nécessitant, pour la majorité des déchets tritiés, un traitement préalable ou un entreposage de décroissance. Les études visant à déterminer une filière de gestion pour ces déchets, menées dans le cadre de l'article 4 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs et du PNGMDR ont permis de définir une filière de gestion qui s'articule ainsi :

- le traitement pour les déchets tritiés dont l'activité ou le taux de dégazage en tritium est trop important pour permettre leur entreposage en toute sûreté pour les personnes et l'environnement. Les installations de Valduc permettent ainsi de traiter thermiquement les déchets tritiés (par fusion pour les déchets métalliques et étuvages pour les déchets organiques) afin de diminuer leur activité et/ou leur taux de dégazage en tritium. À l'issue de ce traitement, les déchets tritiés sont de très faible activité ;
- l'incinération à Centraco pour les déchets liquides, comme par exemple, les liquides scintillants servant aux analyses (pour être acceptés à Centraco, les déchets tritiés doivent présenter une activité en tritium inférieure à 20 kBq/g) ;
- l'entreposage de décroissance pour les déchets tritiés qui ne sont pas acceptables à Centraco ou dans les centres de stockages de l'Andra en exploitation ou à l'étude. En complément des entreposages de déchets tritiés existants, notamment dans les centres du CEA de Valduc et Marcoule, un programme de création d'entreposage a été défini par le CEA dont le détail est présenté ci-après ;
- le stockage pour les déchets tritiés peu dégazants (pour être acceptés, les déchets tritiés doivent avoir une valeur de dégazage en tritium inférieure à 1 GBq/an/colis).

Les principaux entreposages de déchets tritiés sont situés dans les centres du CEA de Valduc et Marcoule :

- Valduc : la capacité des entreposages a été augmentée fin 2012 avec la mise en service d'un entreposage pour les déchets tritiés purs dégazants. À fin 2013, 14 343 colis étaient entreposés pour une capacité de 21 500 colis, soit un taux d'occupation de 63 % ;
- Marcoule : environ 200 m<sup>3</sup> de déchets tritiés sont entreposés dans le site de Marcoule. Ces déchets seront à terme évacués vers le centre de Valduc lors de la mise en service de nouveaux entreposages.

Par ailleurs, un projet d'entreposage des déchets tritiés sur le centre du CEA de Cadarache, dénommé INTERMED, a fait l'objet d'un dossier d'options de sûreté, déposé à l'ASN en 2014. Il concerne notamment les déchets tritiés solides TFA et FMA-VC produits lors du fonctionnement de l'installation ITER.

À chaque famille de déchets tritiés est associé un concept d'entreposage pour une durée d'une cinquantaine d'années pour permettre la décroissance de l'activité tritium des colis et leur prise en charge dans les centres de stockages de l'Andra<sup>203</sup>.

---

<sup>203</sup> Les concepts d'entreposage sont présentés en détail en p. 115 du PNGMDR 2013-2015.

Compte tenu des flux de production de ses déchets tritiés, le planning prévisionnel de mise en service de nouvelles installations d'entreposage est le suivant :

Famille de déchets tritiés	Bâtiment d'entreposage	Entreposages existants ou date prévisionnelle de mise en service	Localisation
Tritiés purs peu dégazants*	Bât. Purs peu dégazant Tranche 2	2025	Valduc
	Bât. Purs peu dégazant Bis Tranche 1	2037	
	Bât. Purs peu dégazant Bis Tranche 2	2041	
Tritiés de très faible activité	Bât. TFA	2019	Valduc
Tritiés purs dégazants	Bât. Purs dégazants	2030	Valduc
Alpha/Tritiés dégazants	Bât. Alpha tritiés	2021	Valduc
Irradiants tritiés avec radionucléides à vie courte	Bât. IR VC	2025	Valduc
Tritiés TFA et FMA-VC d'ITER et des petits producteurs	Bât. TFA et FMA-VC (INTERMED)	2027	Cadarache
Tritiés MA-VL : tritiés purs d'ITER	Bât. existant sur site ITER préférentiellement	2060	Site ITER

*Planning prévisionnel de création d'entreposages*

\* La première tranche a été mise en service en 2012.

Les déchets générés par l'installation ITER sont présentés dans le rapport préliminaire de sûreté de l'installation transmis dans le cadre de la demande d'autorisation de création de l'INB.

ITER-Organization, exploitant nucléaire de l'installation ITER, est responsable de la gestion des déchets qui seront produits par cette installation. L'Agence ITER-France, créée au sein du CEA, est chargée de la mise en œuvre de la filière d'élimination notamment pour les déchets tritiés qui seront produits. Cet engagement de service, pris en vue de l'implantation sur le territoire du projet ITER, est décrit dans l'accord international ITER du 21 novembre 2006<sup>204</sup>. Il conduira à la mise en place d'un contrat pour la prise en charge des déchets d'exploitation et de ceux produits lors des opérations préalables au démantèlement entre ITER-Organization et les acteurs français impliqués dans la filière.

Compte-tenu des teneurs et des taux de dégazage en tritium attendus dans les déchets nucléaires d'ITER, la plupart de ceux-ci ne seront pas directement admissibles dans les centres de stockage de l'Andra. Il est pour l'instant prévu selon le type de déchet :

- l'entreposage des déchets tritiés MA-VL<sup>205</sup> et purement tritiés dans l'installation ITER pendant toute la durée des phases de fonctionnement et d'opérations préparatoires au

<sup>204</sup> Les termes de cet accord sont disponibles sur le site internet de l'organisation ITER : <https://www.iter.org/fr/legal/status>.

<sup>205</sup> Leur conditionnement est actuellement à l'étude.

démantèlement,

- l'entreposage des déchets conditionnés tritiés FMA-VC et TFA sur le site d'ITER pendant 6 mois, avant leur transfert, directement vers les centres de stockage de l'Andra, ou dans l'attente vers l'installation d'entreposage INTERMED pour permettre la décroissance de l'activité tritium des colis.

Des groupes de travail ont été mis en place afin d'optimiser la gestion des déchets d'ITER.

Dans son avis du 2 février 2016<sup>206</sup>, l'ASN indique qu'elle considère, dans son principe, qu'une solution qui conduirait à rejeter dans l'environnement le tritium contenu dans les déchets tritiés sous ses différentes formes n'est pas acceptable du point de vue environnemental et ne peut constituer une solution de gestion de référence, en particulier pour les déchets « tritiés purs ».

**R11 – Le CEA et Socodei, en lien avec L'Andra, doivent présenter, pour fin 2017, une analyse relative à la comparaison, pour différentes typologies de déchets tritiés (liquides ou gazeux mais également solides, déchets contaminés au tritium ou « tritiés purs », déchets des « petits producteurs »), sur le plan de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement, de différentes solutions de gestion des déchets tritiés comprenant l'entreposage, l'incinération (avec ou sans entreposage préalable) et le stockage direct afin de permettre au PNGMDR 2018-2021 de se positionner sur le caractère de meilleure technique disponible (MTD) de l'incinération pour certains types de déchets tritiés. Cette analyse devra notamment prendre en compte les rejets radioactifs et chimiques induits par le procédé d'incinération.**

Concernant les déchets tritiés solides des petits producteurs hors électronucléaire, la solution de référence retenue dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 est un entreposage mutualisé avec les déchets d'ITER dans l'installation INTERMED dont la mise en service est envisagée en 2027. Dans l'attente de la définition d'une filière de gestion pour les déchets tritiés gazeux, la solution de référence proposée par l'Andra et étudiée par le CEA est également un entreposage sur cette installation.

Dans l'attente de la mise en service de cet entreposage, l'Andra a étudié, en lien avec le CEA, les possibilités de prise en charge de déchets tritiés d'un responsable défaillant. De tels déchets pourraient être pris en charge sur les installations d'entreposage de Valduc sous réserve de l'accord de l'ASND et sous réserve :

- que le caractère d'urgence à ce recours est justifié,
- que ces déchets respectent les spécifications d'acceptation des entreposages concernés,
- qu'ils mobilisent des quantités limitées ne remettant pas en cause la destination principale des installations destinées aux activités de la force de dissuasion,
- que les filières d'évacuation soient identifiées de telle façon que le caractère temporaire de l'entreposage du centre de Valduc soit garanti.

**R12 – L'entreposage de déchets dans des installations nucléaires de base secrètes, dès lors que ces déchets ne proviennent pas des activités liées à la force de dissuasion, ne doit être accepté qu'en cas d'urgence justifiée et de quantités limitées. Les installations d'entreposage de tels déchets devraient en priorité relever du régime des ICPE ou des**

<sup>206</sup> L'avis n° 2016-AV-0253 du 2 février 2016 de l'ASN sur les études relatives à la gestion de certaines catégories particulières de déchets est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN »

**INB, notamment pour permettre la tenue des procédures de consultation et d'information.**

**R13 – L'Andra doit étudier la possibilité de prendre en charge, pour entreposage ou stockage, dans ses installations les déchets tritiés de responsables défaillants d'ici le 31 décembre 2020.**

Concernant les déchets tritiés liquides<sup>207</sup> et gazeux<sup>208</sup> des petits producteurs, l'étude des filières de gestion des déchets menée par l'Andra dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 a montré que ces déchets ne pouvaient être acceptés dans aucune des filières existantes ou en projet. Ces déchets doivent être traités (prioritairement par destruction, notamment via un traitement thermique) ou rendus solides pour leur acceptation en stockage<sup>209</sup>.

**R14 – Les études menées pour un entreposage des déchets tritiés des petits producteurs dans l'installation en projet INTERMED ne doivent pas porter préjudice à la poursuite d'un programme de recherche d'une solution de gestion définitive.**

**R15 – Étant donné les caractéristiques des déchets tritiés, notamment leur mobilité dans l'environnement, les installations d'entreposage doivent être en nombre limité.**

**R16 – Les déchets tritiés liquides et gazeux des petits producteurs sont à déclarer dans la catégorie des déchets sans filière à l'Inventaire national. L'Andra doit poursuivre les travaux de consolidation de l'inventaire des déchets tritiés (solides, liquides, gazeux) des petits producteurs et de ceux détenus par la défense nationale.**

**L'Andra transmet avant le 31 décembre 2017 au ministre chargé de l'énergie la stratégie envisagée pour la gestion des déchets tritiés solides des petits producteurs dans l'attente de la mise en service des installations d'entreposage prévues pour ITER.**

**R17 – L'Andra doit poursuivre la recherche de filières de gestion adaptées pour les déchets tritiés gazeux et liquides des petits producteurs hors électronucléaire et en fournir un état d'avancement d'ici le 31 décembre 2019. Areva, le CEA et Socodei doivent s'associer à cette démarche pour déterminer les possibilités de traitement de tels déchets dans leurs installations et la possibilité de prise en charge pour entreposage. La mutualisation des installations pour le traitement des déchets des petits producteurs doit être recherchée.**

**R18 – La définition d'une filière de gestion définitive pour l'ensemble des déchets tritiés liquides et gazeux des petits producteurs hors électronucléaire devra être donnée d'ici 2025.**

**I5 – Volume et activité des déchets tritiés ne disposant pas d'une filière de gestion**

<sup>207</sup> Environ 200 litres pour une activité de quelques TBq.

<sup>208</sup> Environ 20 m<sup>3</sup> pour une activité de 40 TBq.

<sup>209</sup> Le décret du 4 septembre 1989 autorisant la création du CSA n'autorise en effet pas le stockage de déchets sous forme liquide ou gazeuse.

### 4.3.3 La gestion des sources scellées usagées

#### 4.3.3.1 Introduction

Le terme de source scellée usagée est utilisé pour désigner toute source scellée périmée ou toute source scellée dont l'utilisateur n'a plus besoin, et dont il cherche à se défaire. Une source scellée usagée n'est pas nécessairement un déchet : une part significative des sources (notamment des sources de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et d'  $^{241}\text{Am}$ ) est recyclée par les fabricants de sources. Elles sont alors considérées comme des matières radioactives au sens du code de l'environnement.

L'ensemble des sources scellées usagées ne pouvant être recyclées ou exportées vers leur pays d'origine, il est nécessaire de mettre en place en France des filières de gestion des sources pour lesquelles la décision est prise de les gérer en tant que déchets radioactifs. Cette décision relèvera le plus souvent des fabricants, après collecte auprès des utilisateurs, ou des fournisseurs.

La création d'une filière de gestion nécessite de définir :

- les critères d'acceptation en stockage, pour chaque stockage existant ou prévu,
- les filières de conditionnement adaptées aux différents types de sources et à chaque stockage,
- les besoins et solutions d'entreposage intermédiaire,
- l'organisation de campagnes périodiques de collecte<sup>210</sup> de sources scellées sans emploi auprès des établissements d'enseignements ou laboratoires universitaires, des établissements de santé et des collectivités locales.

Un groupe de travail a été mis en place dans le cadre du PNGMDR 2013-2015. Ce « GT sources » a procédé à une analyse de la situation et des besoins et a formulé des recommandations concernant les trois premiers points dans son rapport du 19 décembre 2014<sup>211</sup>.

**R19 – Afin d'évaluer la mise en œuvre des recommandations de ce groupe de travail, l'Andra doit :**

- **présenter à fin 2017 un suivi du déploiement des filières de gestion des sources scellées usagées considérées comme des déchets ;**
- **poursuivre, avec les détenteurs concernés, l'examen des besoins d'élimination des sources détenues par les fournisseurs, notamment dans les cas suivants : sources de l'industrie électronique, détecteurs de fumées, sources et objets luminescents.**

<sup>210</sup> Dans le passé des campagnes de collecte ont été organisées par l'Andra et par le GIP sources (créé par le CEA et CisBio) pour les sources fabriquées par le CEA. La coordination nationale des réseaux PCR (CorPAR) pourrait relayer l'information auprès des détenteurs de sources scellées sans emploi.

<sup>211</sup> Le rapport remis par le groupe de travail sur les sources scellées usagées dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie :

- <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

#### 4.3.3.2 Reprise des sources scellées usagées

Les détenteurs de sources scellées sont tenus par l'article R. 1333-52 du code de la santé publique de faire reprendre leurs sources scellées au bout de dix ans de détention, sauf autorisation de prolongation de détention.

Le fournisseur de sources radioactives scellées est, de son côté, dans l'obligation de récupérer, sans condition et sur simple demande, toute source scellée qu'il a distribuée.

Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2015, cet article prévoit la possibilité de reprise par tout fournisseur de sources (et non plus uniquement par le fournisseur d'origine ou son repreneur) et, en dernier ressort, par l'Andra. Cette notion de « dernier ressort » signifie notamment que le fournisseur d'origine ne peut pas être identifié ou qu'il n'y a aucune possibilité de recycler ces sources dans les conditions techniques et économiques du moment.

**R20 – Pour tenir compte de ces nouvelles dispositions réglementaires relatives à la reprise des sources scellées usagées, l'Andra doit :**

- **évaluer de manière prospective l'inventaire des sources susceptibles d'être collectées, en dernier recours, sur demande de leurs détenteurs en application de l'article R. 1333-52 du code de la santé publique dans les 5 prochaines années ;**
- **s'assurer de la compatibilité de ses capacités (volumiques et radiologiques) d'entreposage avec l'inventaire estimé.**

#### 4.3.3.3 Critères d'acceptation des sources scellées usagées en stockages

La spécificité des sources scellées est leur activité concentrée et leur caractère potentiellement attractif. Ceci a justifié la limitation de leur acceptabilité en stockage.

À ce jour, le CSA et, depuis 2015, le Cires disposent de spécifications d'acceptation permettant le stockage de colis de déchets radioactifs contenant des sources scellées. Les critères d'acceptation des sources au CSA sont liés à des scénarios d'intrusion humaine banale (par exemple, chantier routier et construction d'une résidence au niveau du stockage) sur le site de stockage, à une date où la mémoire du site est supposée perdue (300 ans). Ces intrusions conduiraient à une possible récupération de sources par des personnes non conscientes du danger qu'elles représentent.

Plusieurs scénarios d'exposition ont été considérés, notamment :

- la mise en poche d'une source,
- la conservation d'une source en tant que bibelot,
- la destruction d'une source,
- l'ingestion d'une source.

La prise en considération de ces scénarios d'exposition et des doses induites a conduit à limiter l'activité par source (notion de limite d'activité des sources ou LAS, qui est dépendante des isotopes contenus). Dans une étude publiée par l'Andra en 2008 sur la gestion durable des sources scellées usagées, cette méthode d'analyse est complétée en prenant en compte la dimension des sources.

#### Stockage au Cires

Les spécifications d'acceptation de cette installation de stockage ont été modifiées en 2015 pour permettre la prise en charge des sources scellées usagées dans le respect de la démonstration de la

sûreté du centre. Dans un premier temps, les sources admises au Cires sont celles dont l'activité sera inférieure à 1 Bq 30 ans après leur admission. Ceci permettra notamment la gestion des sources anciennes totalement décruées, ou de sources à vie très courte largement utilisées en médecine nucléaire telles que le Cobalt-57 ou le Germanium-68. En raison de la période très courte des radionucléides utilisés, ces sources ne sont pas recyclables. Elles devront donc être déclarées par leurs détenteurs comme des déchets radioactifs et sont éligibles à une collecte directe par l'Andra.

**R21 – L'Andra doit examiner l'intérêt et la possibilité, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement, de réévaluer le critère de 1 Bq en favorisant, de manière analogue à ce qui est prévu au CSA, la définition d'une limite d'activité des sources (LAS) par radionucléide plutôt qu'une valeur forfaitaire.**

#### Stockage au CSA

En l'état, les spécifications d'acceptation de sources scellées au CSA limitent les typologies de sources admissibles en stockage. En particulier, l'activité massique maximale des colis est limitée à un dixième de l'activité massique maximale des autres colis de déchets radioactifs et le mélange de sources scellées et de déchets radioactifs est interdit.

**R22 – L'Andra doit examiner la possibilité, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement, d'apporter aux spécifications d'acceptation du centre de stockage de l'Aube les évolutions suivantes :**

- la réévaluation du critère d'activité massique (LAM) des colis de déchets ;
- la prise en compte de la taille pour les sources de dimensions importantes dans la détermination de la LAS ;
- l'acceptation de sources multi-radionucléides ;
- l'acceptation de certaines sources neutroniques ;
- l'acceptation des sources contenant du tritium.

#### De manière générique au CSA et au Cires,

**R23 – L'Andra devra examiner la possibilité, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement, d'apporter aux spécifications d'acceptation des centres de stockage de l'Aube les évolutions suivantes :**

- étudier la faisabilité de la prise en charge dans les stockages comme des déchets radioactifs ordinaires des sources scellées spécifiques ne comportant aucune barrière physique (par exemple, sources électro-déposées) de manière à prendre en compte leur nature physico-chimique relevant plutôt d'objets non scellés ne présentant pas les mêmes enjeux en cas d'intrusion à long terme ;
- définir les modalités qui permettraient d'accepter, le cas échéant, des mélanges de sources et d'autres déchets dans les filières de stockage actuelles tout en conservant la traçabilité des sources ce qui pourrait notamment simplifier la constitution de colis de déchets étant donnés les faibles volumes concernés (voir §4.3.3.4).

#### Projet de stockage pour les déchets de type FA-VL

À ce jour, la conception d'un stockage pour les déchets de type faible activité à vie longue (FA-VL) n'est pas figée. Les caractéristiques des sources acceptables dans ce type de stockage

dépendront de la conception qui sera *in fine* adaptée et notamment de sa profondeur d'implantation comme des mécanismes d'érosion envisagés.

**R24 – Dans le cadre du projet de stockage pour les déchets de type FA-VL qui est en cours de conception, l'Andra doit élaborer, à l'occasion du dépôt du dossier d'options de sûreté du stockage, des critères préliminaires d'acceptation de sources scellées usagées. Celles-ci pourront reposer sur une logique de sûreté analogue à celle du CSA (LAS).**

#### Projet de stockage en couche géologique profonde

Conformément aux dispositions de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, les déchets radioactifs ne pouvant, pour des questions de sûreté nucléaire ou de radioprotection, être stockés en surface ou faible profondeur, font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde.

Ainsi, les sources qui ne pourront être acceptées dans les installations susmentionnées feront l'objet d'un stockage en couche géologique profonde sachant, par ailleurs, que les scénarios d'intrusion humaine banale ne seront pas considérés pour ce stockage étant donné sa profondeur envisagée. Le cas échéant, un traitement ou un conditionnement adapté doit permettre aux sources considérées de respecter les spécifications d'acceptation qui seront fixées par l'Andra pour les déchets HA et MA-VL.

**R25 – Le cas des sources scellées usagées doit être intégré dans l'élaboration des spécifications préliminaires d'acceptation du projet Cigéo qui seront remises dans le cadre des options de sûreté de ce projet.**

La définition de spécifications d'acceptation en stockage n'est pas suffisante pour finaliser la mise en œuvre d'une filière de gestion des sources scellées usagées en tant que déchets radioactifs. Il faut en effet également :

- définir et déployer des filières de conditionnement acceptant les sources ou spécifiques aux sources et permettant la production de colis primaires,
- définir et déployer des filières de stockage (définition des colis de stockage et de leur mise en stockage),
- disposer de capacités d'entreposage intermédiaire.

#### **4.3.3.4 Filières de conditionnement à créer**

Le « GT sources » mis en place dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 s'est attaché à élaborer une stratégie de référence pour le conditionnement des sources et d'explicitier la ou les filières de stockage associées à chaque filière de conditionnement<sup>212</sup>. Pour certaines familles de sources, des besoins de traitement préalable ont été identifiés : ce sera notamment le cas des sources scellées contenant des gaz occlus<sup>213</sup>.

La stratégie de référence élaborée par ce groupe consiste tout d'abord à gérer dans des filières déchets radioactifs « ordinaires », sans spécificité liée à leur statut de sources scellées, les types de sources suivants :

---

<sup>212</sup> Le groupe de travail s'est appuyé sur les travaux antérieurement engagés par l'Andra et le CEA, dont la description détaillée figure dans le PNGMDR 2013-2015.

<sup>213</sup> Du fait de l'obligation de stocker des déchets sous forme solide.

- Sources tritium (filère de gestion des déchets tritiés) : stockage dans les centres de l'Andra ou entreposage de décroissance, selon le niveau d'activité ;
- Sources liquides (filère de gestion des déchets liquides) ;
- Sources incinérables (filère Centraco) ;
- Sources de démarrage des réacteurs (mêmes filères que les structures internes irradiées des réacteurs) ;
- Sources sans barrière physique de confinement, dont les électro-déposées (toutes filères de déchets solides compatibles).

Les autres sources seraient gérées dans des filères spécifiques aux sources (colis sources), sans exclure à terme que certains de ces colis sources puissent accepter des mélanges maîtrisés de sources et de déchets.

Plusieurs typologies de conditionnement ont été proposées par le « GT sources » : caisson de 1 m<sup>3</sup> pour les déchets TFA et de 5 m<sup>3</sup> pour les déchets FMA-VC, colis 870 L « multi-stockage » acceptable pour les déchets FMA-VC, FA-VL et MA-VL, colis métalliques soudés pour les déchets HA.

#### 4.3.3.5 Besoins et solutions d'entreposage

Des entreposages intermédiaires sont nécessaires afin de permettre la gestion effective des sources :

- entreposage par certains utilisateurs :
  - o les sources scellées relevant du ministère de la défense sont entreposées sur différents sites, dont une partie sur le site de Saint Priest, qui doit être cédé prochainement. Le ministère est en discussion avec l'Andra pour la reprise et l'entreposage de ses déchets radioactifs, ainsi que de ses sources sans filière,
  - o l'entreposage des sources d'EDF se fait sur site ; les volumes concernés sont faibles ; toutefois, EDF a entrepris une campagne de reprise de ses sources par les fournisseurs ou fabricants concernés ;
- entreposages temporaires des sources collectées par les fournisseurs ou fabricants :
  - o tous les fournisseurs disposent d'un entreposage tampon, avant élimination des sources, le plus souvent par retour vers leur propre fabricant,
  - o le « GT sources » n'a cependant pas examiné le cas des fournisseurs de certaines catégories de sources (industrie électronique pour les éclateurs et parasurtenseurs, GESI pour les sources des détecteurs de fumée ioniques, fournisseurs ou détenteurs d'objets radio-luminescents) ;
- entreposages associés aux procédés de conditionnement ou de stockage :
  - o le GIP sources HA et le CEA utilisent ou ont prévu d'utiliser les installations suivantes : INB n<sup>os</sup> 29, 72, 164 et 175 (installation DIADEM en cours de construction à Marcoule) et l'ICPE CERISE (installation incluse dans l'INB n<sup>o</sup> 49),
  - o l'Andra utilise les installations du Cires pour l'entreposage des sources dont il assure la collecte ; cette même installation permet de regrouper les sources (notamment de radium) entreposées dans le passé sur plusieurs sites dont ceux du CEA déjà cités,
  - o l'Andra envisage l'utilisation de l'installation en projet INTERMED, ou d'une autre installation dédiée à créer, pour l'entreposage de décroissance des sources et déchets tritium.

#### 4.3.3.6 Lotissement consolidé des sources à gérer comme déchets

Afin de valider la stratégie de gestion proposée, le « GT sources » a procédé à une estimation des quantités de sources à éliminer par détenteur, filière de conditionnement et filière de stockage, pour toutes les filières spécifiques aux sources. Deux horizons ont été pris en compte :

- à court et moyen terme, sont pris en compte les stocks accumulés en raison de l'absence de filières de gestion, et les reprises prévisibles dans la décennie en cours
- à long terme, une estimation des flux stabilisés, au-delà de dix ans, après résorption des stocks.

Ces estimations de nombre de colis sources et volume de déchets sont à considérer comme un ordre de grandeur et non une donnée précise.

Prévisions pour la première décennie (incluant les stocks accumulés) :

Filière de stockage	Type de colis de stockage	Nombre de colis (stock)	Nombre de colis (flux à 10 ans)	Nombre total de colis	Volumes cumulés des colis de stockage (m3)
TFA (CIRES)	panier 1 m3	6	17	23	23
FMA-VC (CSA)	colis 5 m3	31	21	53	265
MAVL (CIGEO) ou FAVL	colis 870 l	78	61	139	121
	colis CSM entreposés par le CEA	41	0	41	123
HAVL (CIGEO)	CDT 175 l	6	1	7	1,2

Prévisions de flux annuels stabilisés à un horizon de dix ans et au-delà :

Filière de stockage	Type de colis de stockage	Nombre de colis (flux par an)	Volumes des colis de stockage par an (m3)
TFA (CIRES)	panier 1 m3	1 à 2	1 à 2
FMA(CSA), MAVL (CIGEO) ou FAVL	colis 870 l	5 à 7	4 à 6

Les faibles flux envisagés à cet horizon montrent l'intérêt de considérer (au moins à cet horizon) la gestion de sources et de déchets dans les mêmes colis, afin de garantir la viabilité économique des filières de conditionnement et l'acceptabilité des coûts de reprise des sources auprès des utilisateurs, malgré les faibles flux de sources prévus dans chaque filière.

#### 4.3.4 La gestion des déchets des petits producteurs hors électronucléaire

Depuis 1979, l'Andra assure la prise en charge des déchets des petits producteurs hors électronucléaire. Cette dénomination désigne les déchets résultant d'activités non électronucléaires manipulant des substances radioactives et produisant de ce fait des déchets radioactifs. Ces activités se rattachent notamment aux secteurs de la recherche (hors activités du CEA), de l'industrie non électronucléaire ou médicale. Environ 1 300 détenteurs de ce type sont recensés. L'Andra collecte en général des déchets non conditionnés et réalise ou fait réaliser pour son compte les opérations de tri, de conditionnement, d'entreposage et de stockage. À travers le

guide d'enlèvement édité par l'Andra<sup>214</sup>, 80 tonnes de déchets, soit environ 300 m<sup>3</sup> et 3 000 colis de déchets font l'objet de prestations par l'Andra.

L'Andra n'était pas dotée d'installations en propre pour la gestion des déchets des petits producteurs hors électronucléaire lors de sa création en 1991. De ce fait les prestations étaient réalisées en majeure partie par des prestataires de l'Andra. L'Andra a engagé une reconfiguration de la filière en créant en 2012, au Cires, un centre de regroupement et une installation d'entreposage pour les déchets des petits producteurs hors électronucléaire. En complément, l'Andra prévoit de mettre en service en 2016 un atelier de tri et de traitement.

Par ailleurs, l'Andra a engagé une mise à jour des modalités de gestion de ces déchets de manière à mieux adapter les processus de traitement à la nature, à l'activité et aux volumes des déchets. Cette mise à jour vise également à minimiser les coûts de traitement. Elle a été appliquée aux déchets de très faible activité qui ont été réorientés des filières de gestion des déchets de faible activité (incinération, stockage) vers le Cires pour ceux qui pouvaient être stockés directement.

Outre un objectif permanent de réduction des délais de prise en charge, l'Andra vise ainsi à sécuriser et diversifier les filières afin de réduire leur dépendance à des installations uniques et à leurs aléas, en retour d'expérience de l'accident survenu à Centraco en 2011.

#### **4.3.5 La gestion des déchets de Malvési**

Le site industriel Areva NC de Malvési (Narbonne) opère depuis 1960 la première étape de la conversion nécessaire au cycle du combustible nucléaire. Il constitue l'unique point d'entrée en France de l'uranium naturel provenant des mines, et procède à leur purification et à leur transformation en tétrafluorure d'uranium (UF<sub>4</sub>).

Les effluents liquides issus du procédé sont neutralisés à la chaux puis dirigés vers les bassins de décantation où s'effectue une séparation solide-liquide. Les bassins de décantation se remplissent donc au fur et à mesure de la fraction solide des effluents (boues de fluorine et d'hydroxydes métalliques) constituant les déchets solides du procédé de conversion. La fraction liquide des effluents, clarifiée par la décantation, rejoint les bassins d'évaporation où elle est concentrée par évaporation naturelle.

Les bassins de décantation utilisés par les installations industrielles de Malvési sont situés sur un massif constitué essentiellement des stériles et des résidus miniers issus d'une ancienne mine de soufre qui a cessé ses activités en 1953. Il est à noter que de 1960 à 1983, l'installation a également converti en UF<sub>4</sub> de l'uranium issu du traitement des combustibles usés (URT), d'où la présence de traces de radionucléides artificiels dans les déchets solides entreposés dans les anciens bassins de décantation B1/B2. Du fait de la présence de ces radionucléides artificiels, ces bassins, situés dans le périmètre de l'installation ECRIN, relèvent du régime des INB.

Les spécificités de ces déchets (volumes importants, présence de radionucléides naturels provenant des chaînes de l'uranium et du thorium) expliquent qu'ils ne s'intègrent pas dans les

---

<sup>214</sup> Le guide d'enlèvement des déchets radioactifs de l'Andra, juin 2014 est disponible sur le site internet de l'Andra : [www.andra.fr](http://www.andra.fr), rubrique « guide ».

filières de stockage existantes ou en projet et soient inscrits à l'Inventaire national<sup>215</sup> dans la famille RTCU « Résidus du traitement de conversion d'uranium ».

Cet inventaire fait état à fin 2013 d'environ 300 000 m<sup>3</sup> de déchets produits depuis 1960 et entreposés dans l'INB ECRIN. Ce volume inclut les boues de procédé, les terres et matériaux repris suite à l'effacement de la digue en 2004, ainsi que les matériaux de carrière utilisés en couverture.

L'inventaire RTCU à fin 2013 prend également en compte :

- 354 000 m<sup>3</sup> d'effluents liquides nitrates présents dans les bassins d'évaporation,
- 55 000 m<sup>3</sup> de boues contenues dans les bassins de décantation B5 et B6.

À cet inventaire, il faut ajouter la fraction des stériles et résidus miniers présents sous les anciens bassins B1 et B2 qui seraient potentiellement affectée par l'exploitation passée de ceux-ci. Le PNGMDR 2013-2015 prescrivait la réalisation d'investigations concernant les stériles miniers situés sous les bassins B3, B5 et B6, Ces investigations seront réalisées lors de la vidange de ces bassins pour entreposer les boues qu'ils contiennent dans les anciens bassins B1 et B2. Cette vidange est soumise à l'autorisation par l'ASN de mise en service de l'installation ECRIN et pourrait avoir lieu à partir de 2017.

Conformément à la recommandation du PNGMDR 2013-2015 de distinguer la gestion des déchets produits depuis 1960, de la gestion des déchets à produire d'ici la fin de vie des installations industrielles, le site Areva NC de Malvési a développé une réflexion globale sur la gestion à court, moyen et long termes des déchets du procédé de conversion.

**Concernant les déchets « historiques »**, en partie déjà entreposés sur site, la démarche de sélection du scénario de gestion le plus adapté est organisée en deux parties :

- l'entreposage sûr des déchets à court et moyen termes, en maintenant les déchets dans un état réversible en vue de leur gestion définitive,
- la recherche d'une filière sûre de gestion à long terme à proximité du site, organisée autour d'un programme d'études et de recherches en cours de réalisation.

À court et moyen termes :

Les premiers travaux visant à sécuriser les bassins de décantation dans le cadre de leur gestion à court terme ont été entamés en 2006, avec le renforcement de la stabilité géotechnique de l'ensemble des digues du massif de stériles miniers. Ils ont été suivis en 2012-2013 de travaux de confortement environnemental, consistant en une paroi souterraine associée à un réseau de drainage périphérique, qui permettent de maîtriser les circulations souterraines et de protéger la nappe alluviale. Associés à l'augmentation de capacité des installations de traitement des eaux, c'est l'ensemble des eaux pluviales et souterraines de ce secteur qui est aujourd'hui collecté et traité sur le site de Malvési. L'autorisation de mise en service de l'installation ECRIN devrait permettre la création d'un alvéole d'entreposage des boues déshydratées issues de la vidange des bassins de décantation B5 et B6 ainsi que la réalisation d'une couverture bitumineuse sur une surface d'environ 6 hectares couvrant l'entreposage des déchets historiques de procédé.

---

<sup>215</sup> Inventaire national des matières et des déchets radioactifs (document ANDRA - édition 2015), disponible sur le site internet de l'Andra : [www.andra.fr](http://www.andra.fr).

Cette couverture, associée au dispositif de confortement environnemental, doit permettre de prévenir les risques de dissémination par l'eau de substances radioactives et chimiques.

#### À long terme :

Dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, Areva NC a remis fin 2014 un rapport sur l'état d'avancement des études de faisabilité des trois options de stockage qui avaient été proposées fin 2011 concernant la recherche d'une solution de gestion sûre à long terme des déchets entreposés sur le site de Malvési.

Les études présentées dans le rapport d'avancement sont encore peu détaillées mais présentent des éléments considérés par Areva NC comme favorables à ce stade et ne remettant pas en cause la poursuite des études (notamment l'existence à proximité immédiate du site de deux milieux géologiques d'épaisseur importante et de caractéristiques minéralogiques et géochimiques plutôt favorables à la limitation de la dissémination des substances chimiques et radioactives). Il est à noter que les résultats acquis seront complétés par les rapports périodiques d'avancement remis par Areva NC conformément au décret d'autorisation de création de l'installation ECRIN<sup>216</sup>. Ces études sont relatives à la reconnaissance géologique et hydrogéologique, ainsi qu'au traitement et conditionnement des déchets et à la conception du stockage.

**R26 – Areva NC recherche et met en œuvre une solution de gestion définitive pour les déchets entreposés sur l'INB ECRIN. Dans ce cadre, Areva NC remettra un rapport d'avancement de ses recherches avant le 31 juillet 2020.**

**Concernant les déchets à produire** à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2019, afin de pérenniser le fonctionnement du site et de sécuriser la gestion des déchets solides de procédé à venir, Areva NC travaille actuellement sur deux projets destinés, d'une part à réduire le volume des déchets solides produits et à privilégier les filières de gestion existantes, et d'autre part à traiter (par un procédé thermique) les futurs effluents liquides de procédé, conjointement à ceux déjà entreposés dans les bassins d'évaporation.

Ces évolutions à venir du procédé conduiraient à différencier quatre familles prévisionnelles de déchets de procédé à produire :

- des fluorines et des gypses issus d'une évolution de procédé consistant à séparer à la source les déchets qui seront produits à l'avenir par l'usine,
- un stock de boues déshydratées issues de la vidange et de la filtration des déchets déjà présents dans les bassins de décantation lors de la mise en œuvre de l'évolution de procédé précédente,
- des déchets solides issus du traitement thermique des effluents liquides nitrates qui seront produits par le fonctionnement à venir des installations de conversion, mais aussi par la reprise du stock déjà entreposé dans les bassins d'évaporation.

Conformément à la demande du PNGMDR 2013-2015, Areva a confié à l'Andra l'examen des filières de gestion à long terme de ces déchets à produire et en particulier l'étude de leur

---

<sup>216</sup> Décret du 20 juillet 2015 autorisant AREVA NC à créer et exploiter une installation nucléaire de base dénommée ECRIN (entreposage confiné de résidus issus de la conversion) sur le site de Malvési, commune de Narbonne (département de l'Aude).

acceptabilité en filière TFA et de la compatibilité des éventuels déchets non-TFA avec un stockage à faible profondeur.

Concernant les déchets solides issus du traitement des effluents nitrates et les fluorures, l'Andra confirme qu'ils sont susceptibles de relever de la filière TFA, mais précise que les flux sont importants et ne sont pas pris en compte à ce stade dans l'inventaire du Cires. L'ASN, dans son avis du 2 février 2016<sup>217</sup>, recommande que ces déchets soient pris en compte dans l'inventaire des déchets TFA. Concernant les boues déshydratées et les gypses, l'Andra indique, que compte tenu de leurs caractéristiques radiologiques, ceux-ci ne relèvent pas de la filière TFA, mais d'une autre filière de gestion qui reste à définir. L'analyse préliminaire prospective des conditions d'acceptabilité de ces déchets dans un stockage à faible profondeur a alors été réalisée, ce qui permet de préciser les enjeux liés à la gestion de ces déchets et d'orienter la suite des études : réduction de la concentration en nitrates pour les boues et disposition de conception du stockage spécifique pour les gypses, qui concentrent dans un volume réduit l'activité des radionucléides naturels à vie longue présents dans les concentrés miniers.

En conclusion, au vu de l'analyse exploratoire menée conjointement par Areva et l'Andra, plus de 90 % du flux annuel de déchets à produire pourrait respecter les critères d'acceptabilité du Cires. Le reste (stock de boues déshydratées et flux annuel de gypses) relève d'une filière de gestion appropriée qui reste à définir. L'Andra insiste toutefois sur le caractère exploratoire de l'exercice, en précisant notamment que la compatibilité avec le projet de stockage FA-VL étudié par l'Andra n'a pas encore été étudiée.

En fonction des résultats de ces études à venir, et dans l'hypothèse où ces déchets ne seraient pas compatibles avec le projet de stockage à faible profondeur étudié par l'Andra, Areva considère que les pistes suivantes sont à envisager : poursuivre les études de recherche et de développement pour optimiser l'acceptabilité globale de ces déchets et réduire encore leur volume (avec éventuellement une valorisation en installations minières de l'uranium contenu dans ces gypses) et, à défaut, gérer ces déchets avec les déchets historiques de Malvési.

Les orientations concernant les modalités de gestion des déchets produits par l'usine Areva NC de Malvési relevant d'une filière de gestion FA-VL sont définies dans le chapitre 4.1.

**R27 – Les déchets TFA produits à compter du 1er janvier 2019 par l'usine d'Areva NC de Malvési relèvent de la filière TFA et sont pris en compte dans l'inventaire prévisionnel des déchets TFA.**

**R28 – Les déchets FA-VL produits à compter du 1er janvier 2019 par l'usine d'Areva NC de Malvési relèvent de la filière FA-VL et sont pris en compte dans l'inventaire prévisionnel des déchets FA-VL.**

**R29 – Avant le 31 décembre 2017, Areva établit une stratégie de gestion pour les boues déshydratées actuellement produites par l'usine de Malvési et qui ne seront pas**

---

<sup>217</sup> L'avis n° 2016-AV-0253 du 2 février 2016 de l'ASN sur les études relatives à la gestion de certaines catégories particulières de déchets est disponible sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN »

entreposées dans l'INB n° 175 Ecrin. Si des boues déshydratées étaient produites après 2019, elles seront intégrées dans l'inventaire prévisionnel des déchets FA-VL.

#### 4.3.6 La gestion de déchets issus d'un accident nucléaire – Le Comité Directeur pour la gestion de la phase Post-Accidentelle

La directive interministérielle du 7 avril 2005 sur l'action des pouvoirs publics en cas d'événement entraînant une situation d'urgence radiologique, a chargé l'ASN, en relation avec les départements ministériels concernés, d'établir le cadre et de définir, préparer et mettre en œuvre les dispositions nécessaires pour répondre aux situations post-accidentelles. En juin 2005, l'ASN a mis en place un comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire ou d'une situation d'urgence radiologique (CODIRPA) chargé d'élaborer les éléments de doctrine correspondants et qui a instauré en particulier 11 groupes de travail (GT).

##### Contenu

Le CODIRPA a retenu, comme support aux travaux des GT jusqu'en novembre 2012, deux scénarios d'accidents de gravité moyenne intervenant sur un centre nucléaire de production d'électricité : un scénario de fusion partielle du cœur du réacteur et un scénario de rupture de tube de générateur de vapeur. Les onze groupes de travail se sont réunis : chaque groupe a rédigé un rapport final synthétisant ses conclusions sur le thème attribué. Des expérimentations, pour tester la doctrine en construction, ont été menées au niveau local en 2010 sur trois sites nucléaires et dans plusieurs communes avoisinantes.

Le CODIRPA a pour objectif de préparer des dispositions visant à répondre aux problèmes complexes de la gestion post-accidentelle, en particulier ceux portant sur la gestion sanitaire des populations, les conséquences économiques ou la réhabilitation des conditions de vie dans les zones contaminées. Compte tenu de ces enjeux, trois objectifs fondamentaux ont été retenus pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire :

- protéger les populations contre les dangers des rayonnements ionisants ;
- apporter un soutien à la population, victime des conséquences de l'accident ;
- reconquérir les territoires affectés sur le plan économique et social.

La démarche suivie par le CODIRPA a abouti à l'élaboration d'éléments de doctrine pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire, publiés le 21 novembre 2012<sup>218</sup>. Cette doctrine s'appuie sur les principes internationaux de la radioprotection, mais aussi sur des valeurs guides tirées des travaux du CODIRPA. Elle se décline en objectifs de gestion, pour l'atteinte desquels diverses actions sont proposées, afin de répondre à une situation par nature complexe du fait de la multitude des sujets à traiter et du nombre d'acteurs impliqués.

---

<sup>218</sup> Les éléments de doctrine sont disponibles sur le site internet de l'ASN <http://www.asn.fr>, rubrique « les dossiers », « la gestion post-accidentelle », « comité directeur de phase post-accidentelle ».

## La gestion des déchets en phase post-accidentelle

Dans le cadre de la mise en œuvre des stratégies de reconquête des territoires contaminés et des stratégies de protection des populations, la gestion des déchets en phase post-accidentelle doit s'inscrire dans une logique globale de réduction de la contamination radiologique dans le milieu, en veillant à limiter l'impact de cette gestion sur le public et les intervenants, notamment en limitant le transport de la contamination vers l'extérieur des zones contaminées par l'accident, donc en privilégiant, autant que possible, la gestion de ces déchets dans ces zones. En situation normale, les principes de gestion des déchets radioactifs sont définis dans le code de l'environnement et le PNGMDR. En phase post-accidentelle, la nature et le volume des déchets à gérer, la disponibilité des installations de gestion des déchets ainsi que l'impact radiologique potentiel du traitement ou de l'évacuation de certains déchets contaminés sont des critères qui doivent guider, dans un but d'optimisation de la gestion des déchets, à la fois le choix des actions de réduction de la contamination, le choix des actions de protection des populations et de l'environnement et le choix des solutions de gestion des déchets.

**La première étape de la gestion post-accidentelle des déchets consiste à distinguer les déchets contaminés des déchets non contaminés.** Il apparaît peu réaliste que la gestion des déchets puisse s'organiser sur la base de la mesure de l'activité radiologique des déchets, en particulier parce que les moyens de mesure disponibles en sortie de la phase d'urgence seront vraisemblablement mobilisés pour des actions de caractérisation de l'environnement ou de contrôle de l'activité radiologique des denrées alimentaires. Aussi, **il est proposé que les déchets soient gérés en fonction de leur provenance (zones plus ou moins contaminées).** L'identification de ces zones serait réalisée dans un premier temps sur la base de résultats d'évaluations prédictives. **Ces zones seraient calquées sur celles définies pour la protection des populations et pour la surveillance renforcée des territoires déterminées en fonction des objectifs de gestion des conséquences post-accidentelles :**

- la zone de protection des populations (ZPP) correspond au périmètre au sein duquel il est justifié de mener des actions visant à réduire l'exposition des personnes y résidant. Cette zone est définie à partir d'un objectif de radioprotection de la population vivant dans les territoires les plus contaminés ;
- la zone de surveillance renforcée des territoires (ZST) s'étend au-delà de la zone de protection des populations. Elle est caractérisée par une contamination de l'environnement plus faible ne justifiant pas la mise en œuvre *a priori* d'actions de protection des populations, en dehors d'interdictions de mise sur le marché des denrées produites localement et de recommandations visant à limiter la consommation de certaines denrées autoproduites ou issues de la chasse, de la pêche ou de la cueillette.

Les déchets considérés comme contaminés sont les déchets produits dans la ZPP, du fait de l'accident, sauf cas particuliers. Ces déchets feraient l'objet d'un entreposage spécifique à mettre en œuvre progressivement. Toutefois, des dispositions exceptionnelles pourraient être autorisées dès la sortie de la phase d'urgence lorsque des déchets putrescibles ne peuvent être entreposés (par exemple : épandage du lait), en tenant néanmoins compte de la vulnérabilité des sols et des ressources en eau.

Dans la ZST et au-delà, l'ensemble des déchets serait considéré comme non contaminé. Ils peuvent être traités ou éliminés conformément aux pratiques habituelles sous réserve de certains aménagements, par exemple dans des installations équipées de portiques de détection de la

radioactivité. Il pourra cependant être envisagé de mener *in situ* des mesures périodiques de l'activité radiologiques de certains déchets, en particulier pour les boues produites notamment dans les stations de traitement de l'eau qui sont susceptibles de concentrer la radioactivité.

### Suites des travaux déjà menés

L'accident survenu en mars 2011 sur la centrale de Fukushima Daiichi au Japon est venu rappeler l'importance d'une démarche telle que celle retenue par le CODIRPA, mais a également posé de nouveaux enjeux pour la gestion d'un tel événement. La démarche a donc été poursuivie, d'une part pour assurer la déclinaison des éléments de doctrine nationaux au niveau territorial, et d'autre part, pour envisager un scénario d'accident de longue durée et de grande ampleur, ce qui n'avait pas été étudié jusqu'à présent.

Il est à noter que dans le cas d'un accident de longue durée et de grande ampleur, les territoires susceptibles d'être inclus dans les zonages post-accidentels (ZPP et ZST) seraient bien plus étendus que dans le cas d'un accident d'ampleur moyenne et de rejets de courte durée. Typiquement la ZPP aurait une extension de l'ordre de quelques dizaines de km<sup>2</sup> et la ZST de plusieurs centaines de km<sup>2</sup>. Cependant, comme le montrent les évaluations prévisionnelles déjà réalisées, les distances de dépassement des NMA<sup>219</sup> conditionnant l'extension de la ZST diminueraient assez rapidement au cours des premières semaines de la phase post-accidentelle, en lien notamment avec la décroissance des iodes radioactifs.

Afin de faire progresser la doctrine du CODIRPA en termes de gestion des déchets radioactifs, un groupe de travail dédié a été créé fin 2015, en lien avec le GT PNGMDR. Ses travaux s'articuleront dans un premier temps autour des points suivants :

- une analyse du retour d'expérience de Fukushima et notamment les bonnes et les mauvaises pratiques sur le terrain ;
- une comparaison du retour d'expérience de Fukushima avec la doctrine actuelle du CODIRPA telle que formulée dans le rapport du 21 novembre 2012 ;
- le cas échéant des propositions d'évolution de la doctrine.

---

<sup>219</sup> Niveaux Maximum Admissibles : il s'agit des niveaux définis par les règlements EURATOM et fixant les valeurs à ne pas dépasser pour les denrées les plus vulnérables à la contamination radioactive

# Conclusion

La gestion des matières et les déchets radioactifs doit être réalisée de façon durable, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement conformément aux dispositions du code de l'environnement. À cette fin, la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs doit être recherchée et mise en œuvre afin de prévenir ou de limiter les charges qui seront supportées par les générations futures.

Les déchets radioactifs sont très divers selon l'activité et la durée de vie de leurs radioéléments, ainsi que selon les substances chimiques qu'ils contiennent. Chaque type de déchets, depuis sa production jusqu'à son stockage, doit donc faire l'objet d'une gestion adaptée à sa nature afin de maîtriser les risques, notamment radiologiques, qu'il présente. La gestion des déchets radioactifs relève de la responsabilité des producteurs et de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), sous le contrôle de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) et de l'Autorité de Sûreté Nucléaire de Défense (ASND). Elle est réalisée dans le respect des objectifs fixés par le PNGMDR.

Des filières de gestion à long terme des déchets radioactifs sont d'ores et déjà établies pour les déchets TFA et FMA-VC qui représentent la très grande majorité des volumes de déchets radioactifs. La mise en œuvre de solutions de gestion à long terme doit en revanche continuer à être recherchée pour les déchets FA-VL et HA-MAVL qui, dans l'attente, font l'objet d'une gestion par entreposage.

Les travaux engagés au sein des éditions successives du PNGMDR visent à améliorer et optimiser continuellement les modalités de gestion existantes et à progresser dans la mise en œuvre de nouvelles filières pour l'ensemble des déchets. Ils s'inscrivent dans le cadre des objectifs de réduction de la quantité et de la nocivité des déchets et de mise en place de stockages définis par le code de l'environnement.

L'édition 2016-2018 du PNGMDR s'appuie sur les résultats des travaux engagés par le plan précédent ainsi que sur les informations de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs publié en 2015 par l'Andra. Il s'inscrit dans la continuité de la précédente version en renforçant l'approche par filière de gestion, notamment par la constitution ou la mise à jour de schémas industriels globaux associés. Il demande par ailleurs le recensement des nouvelles capacités et équipements de gestion, en particulier pour l'entreposage, nécessaires au bon fonctionnement des filières afin de pouvoir déterminer les échéances pour leur mise en œuvre. Il insiste sur la nécessité de consolider les prévisions de production de déchets radioactifs, notamment TFA, et de renforcer la justification des possibilités de valorisation de certaines matières radioactives.

Cette quatrième édition du PNGMDR a fait l'objet d'une évaluation environnementale et d'une consultation du public qui a permis de renforcer la prise en compte des thématiques environnementales tout en rappelant la finalité vertueuse de l'existence du plan. Elle présente également des indicateurs permettant d'évaluer l'avancement de la mise en œuvre du plan en application de la directive 2011/70/Euratom du Conseil établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs adoptée le 19 juillet 2011.

Le PNGMDR 2016-2018, accompagné de son rapport environnemental, a été transmis au Parlement début 2017 et fera l'objet d'une évaluation par l'OPECST. Conformément aux dispositions de l'article L.542-1-2 du code de l'environnement, un nouveau décret fixant les prescriptions du PNGMDR 2016-2018 sera publié pour formaliser les demandes et études à conduire. Ce plan, sa synthèse, son évaluation environnementale et les divers documents associés seront également mis en ligne sur les sites internet de l'ASN et de la DGEC.

# Glossaire

**4N (chaîne)** : Nombre de nucléons d'un atome

**ACRO** : Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest

**ADS** : Système piloté par accélérateurs

**AEN** : Agence de l'Énergie Nucléaire

**AFSSA** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

**ANCCLI** : Association Nationale des Comités et des Commissions Locales d'Information

**Andra** : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

**ASN** : Autorité de Sûreté Nucléaire

**ASND** : Autorité de Sûreté Nucléaire de Défense

**Bq** : Becquerel

**BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

**CANDU** : CANada Deuterium Uranium

**CERCA** : Compagnie pour l'Étude et la Réalisation de Combustibles Atomiques

**Cigéo** : Centre industriel de stockage géologique

**CIPR** : Commission Internationale de Protection Radiologique

**Cires** : Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage

**CLI** : Commissions et Comités Locaux d'Information

**CLIS** : Comité Local d'Information et de Suivi

**CNAR** : Commission Nationale des Aides dans le domaine Radioactif

**CNDP** : Commission Nationale du Débat Public

**CNE2** : Commission Nationale d'Évaluation

**CNEF** : Commission Nationale d'évaluation du financement des charges de démantèlement des installations nucléaires de base et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs

**CNPE** : Centre Nucléaire de Production d'Électricité

**CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique

**CODERST** : Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Technologiques

**CODIRPA** : Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire ou d'une situation d'urgence radiologique

**COSRAC** : Comité d'Orientation et de Suivi des Recherches sur l'Aval du Cycle

**CPDP** : Commission Particulière du Débat Public

**CSA** : Centre de Stockage de l'Aube

**CSM** : Centre de Stockage de la Manche

**CU** : Combustible Usé

**DAC** : Décret d'Autorisation de Création

**DGEC** : Direction Générale de l'Énergie et du Climat

**DGPR** : Direction Générale de la Prévention des Risques

**DGRI** : Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation

**DGS** : Direction générale de la Santé

**DLI** : Déchets Liquides Incinérables

**DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

**DRIEE** : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie

**DSI** : Déchets Solides Incinérables

**ENSREG** : Forum Européen de l'Énergie Nucléaire, du groupe européen des régulateurs en matière de sûreté nucléaire

**FA-VL** : Faible Activité, Vie Longue  
**FI** : Faiblement Irradiants  
**FMA-VC** : Faible et Moyenne Activité, Vie Courte  
**FNE** : France Nature Environnement  
**GB1** : George Besse 1  
**GESI** : Groupement français des industries Électroniques de Sécurité Incendie  
**GEP** : Groupe d'Expertise Pluraliste  
**GIP** : Groupement d'Intérêt Public  
**GIP Sources HA** : Groupement d'Intérêt Public relatif aux sources radioactives scellées de haute activité  
**GSIEN** : Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Énergie Nucléaire  
**GT** : Groupe de Travail  
**GV** : Générateur de Vapeur  
**HA** : Haute Activité  
**HCTISN** : Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire  
**ICPE** : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement  
**ILL** : Institut Laue-Langevin  
**INB** : Installation Nucléaire de Base  
**INBS** : Installation Nucléaire de Base Secrète  
**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques  
**INSERM** : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale  
**IRSN** : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire  
**LAM** : Limite d'Activité Massique  
**LAS** : Limite d'Activité des Sources  
**MA-VL** : Moyenne Activité, Vie Longue  
**MEEM** : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer  
**MESR** : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
**MI** : Moyennement Irradiants  
**MIMAUSA** : Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives  
**MOx** : Combustible à base d'oxydes de plutonium et d'uranium  
**MSNR** : Mission Sûreté Nucléaire et Radioprotection  
**NEEDS** : Nucléaire, Énergie, Environnement, Déchets, Société  
**NORM** : Déchets à radioactivité naturelle élevée  
**OCDE** : Organisation de coopération et de développement économique  
**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé  
**OPE** : Observatoire Pérenne de l'Environnement  
**OPECST** : Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques  
**PCR** : Personne Compétente en Radioprotection  
**PDE** : Plan Directeur d'Exploitation  
**PIGD** : Programme Industriel de Gestion des Déchets  
**PNGMDR** : Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs  
**PRI** : Protections Radiologiques Intégrées  
**RCD** : Reprise et Conditionnement des Déchets  
**R&D** : Recherche et Développement  
**REP** : Réacteur à Eau Pressurisé  
**RFS** : Règle Fondamentale de Sûreté  
**RHF** : Réacteur à Haut Flux  
**RNR (déchets)** : déchets à Radioactivité Naturelle Renforcée

**RNR (réacteurs) :** Réacteur à Neutrons Rapides  
**SCI :** Stockage sous Couverture Intacte  
**SCR :** Stockage sous Couverture Remaniée  
**SHS :** Sciences Humaines et Sociales  
**Sv :** Sievert  
**TFA :** Très Faible Activité  
**tML :** tonne de métal lourd  
**tMLi :** tonne de métal lourd irradiée  
**Uapp :** Uranium appauvri  
**UNGG :** Uranium Naturel Graphite Gaz  
**UOx :** Combustible à base d'oxyde d'uranium  
**URE :** Uranium de Retraitement (ou Recyclage) Enrichi  
**URT :** Uranium de Retraitement (ou Recyclage issu du traitement des combustibles usés)  
**VTC :** Vie Très Courte  
**WISE-Paris :** World information service on energy  
**ZIRA :** Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie  
**ZPP :** Zone de Protection des Populations  
**ZST :** Zone de Surveillance renforcée des Territoires

# Annexes

## Sommaire des annexes

<i><b>Annexe 1 : Rappel des principales orientations des PNGMDR successifs depuis 2007 et liste des études demandées par le PNGMDR 2016-2018.....</b></i>	<b>216</b>
<i><b>Annexe 2 : Dimension sociétale, concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture des stockages de déchets radioactifs, préservation de la mémoire .....</b></i>	<b>226</b>
Dimension sociétale .....	226
Concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture .....	227
La préservation et la transmission de la mémoire des stockages de l'Andra .....	232
<i><b>Annexe 3 : Synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers .....</b></i>	<b>236</b>
Synthèse des réalisations à l'Étranger .....	236
Classification des déchets .....	239
Filières de gestion existantes ou en cours de réalisation.....	240
Les recherches en soutien au stockage géologique.....	244
Incidents du Waste Isolation Pilot Plant – WIPP aux Etats-unis .....	250
<i><b>Annexe 4 : Volet recherche pour la période 2016-2018.....</b></i>	<b>252</b>
Acteurs structurant la recherche menée dans le cadre du PNGMDR.....	252
Améliorer la connaissance et travailler en amont sur le conditionnement des déchets et le comportement des colis.....	254
Accompagner les projets de stockage (déchets HA et MA-VL, FA-VL) et les projets d'entreposage .....	259
Les apports à la connaissance phénoménologique du stockage .....	262
Poursuite des recherches sur les réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération et le cycle fermé du combustible .....	266
Principales installations de recherche pour les études conduites dans le cadre du PNGMDR....	274
<i><b>Annexe 5 : Accords intergouvernementaux conclus par la France en matière de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs (accords en vigueur au 31 décembre 2015, énumérés dans l'ordre chronologique) .....</b></i>	<b>279</b>

## **Annexe 1 : Rappel des principales orientations des PNGMDR successifs depuis 2007 et liste des études demandées par le PNGMDR 2016-2018**

La loi de programme du 28 juin 2006 sur la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, a consacré le rôle important d'un plan national pour la gestion des matières et des déchets radioactifs et prévoit son adoption par le Gouvernement tous les 3 ans.

Le PNGMDR 2016-2018 constitue la 4<sup>e</sup> édition du plan depuis le premier plan établi pour la période 2007-2009. Cette édition s'inscrit dans la continuité des plans précédents, dans l'objectif constant d'améliorer la gestion des matières et des déchets radioactifs dans le respect des principes et orientations initialement définis par la loi du 28 juin 2006 et repris dans le code<sup>220</sup> de l'environnement.

Les principales orientations des précédents PNGMDR et les résultats obtenus sont synthétisés ci-après.

### Qualité de l'inventaire des déchets et des matières radioactifs

L'amélioration de la qualité de l'inventaire des déchets et des matières radioactifs est une préoccupation constante des PNGMDR.

Des démarches de recensement des stockages historiques liés aux installations nucléaires et de stériles miniers d'uranium ont par exemple été initiées par l'édition 2010-2012 du PNGMDR et poursuivies en 2013-2015. La nouvelle édition appelle à achever d'ici fin 2017 les investigations sur les stockages historiques. Elle demande aussi que les arguments conduisant l'exploitant à se prononcer, au cas par cas, en faveur de la poursuite d'une gestion in situ d'un stockage historique, soient suffisamment étayés pour permettre d'apprécier les raisons de ce choix au regard des enjeux de sûreté et de protection des intérêts mentionnés notamment à l'article L. 593-1 du code de l'environnement.

Par rapport aux éditions précédentes, le PNGMDR 2016-2018 renforce ses actions pour améliorer la qualité prospective de l'inventaire, en demandant que les déchets liés à l'assainissement des sols soient identifiés dans l'inventaire national des matières et déchets radioactifs à compter de son édition 2021 et que les scénarios de long terme liés à des hypothèses sur la politique énergétique soient davantage diversifiés et détaillés. Le recensement des besoins futurs en entreposage a fait l'objet d'un développement plus complet et des échéances de création de nouvelles capacités d'entreposage sont définies.

### Gestion des matières radioactives

Un suivi des possibilités effectives de valorisation des matières radioactives est effectué lors de chaque édition du PNGMDR où il est demandé que les propriétaires de matières radioactives indiquent les procédés de valorisation qu'ils envisagent ou, s'ils ont déjà fourni ces éléments, les changements envisagés.

Ce suivi a permis de bâtir, au fil des éditions du plan, des critères d'appréciation du caractère effectivement valorisable des matières radioactives. À l'aune des critères ainsi définis, des justifications complémentaires sur le caractère effectivement valorisable de certaines matières radioactives sont demandées par le PNGMDR 2016-2018.

---

<sup>220</sup> Partie législative Livre V, Titre IV, chapitre 2

En parallèle de ce suivi, dès l'édition 2007-2009 du PNGMDR, les propriétaires de matières radioactives ont été amenés à étudier, à titre conservatoire, les filières possibles pour leur gestion dans le cas où ces matières seraient un jour requalifiées en déchets. Les PNGMDR 2010-2012 et 2013-2015 ont demandé que ces études soient approfondies pour le thorium. Cette demande d'étude approfondie est étendue pour l'uranium appauvri et l'uranium de retraitement des combustibles usés dans le PNGMDR 2016-2018.

Pour chacune des substances précitées, l'étude de faisabilité d'un concept de stockage, indiquant le coût associé sur la base de leur inventaire radiologique et chimique détaillé est attendu pour fin 2019. La présentation de l'impact potentiel des quantités de matières éventuellement requalifiées sur les filières de stockage en projet est attendue à cette même échéance.

### Gestion des résidus miniers

Conformément à un des objectifs de la loi du 28 juin 2006, un premier bilan de l'impact à long terme des sites de stockage de résidus miniers d'uranium et de la mise en œuvre d'un plan de surveillance radiologique renforcée de ces sites a été établi dans le cadre du PNGMDR 2007-2009. Les études se sont poursuivies et des bilans d'avancement ont été fournis à l'occasion de chaque mise à jour du PNGMDR en tenant compte des demandes particulières de ces plans.

Les travaux engagés nécessitent d'être poursuivis dans le cadre des deux prochains PNGMDR afin de compléter les études concernant l'évolution à long terme des résidus de traitement et des stériles miniers, de compléter la méthodologie d'évaluation de la tenue à long terme des digues, d'étudier les possibilités d'évolution ou d'arrêt des stations de traitement des eaux et in fine de proposer des actions concrètes de réduction des risques et des impacts sur les différents sites.

### Gestion des déchets TFA

Afin notamment d'anticiper l'augmentation sensible des volumes de déchets TFA liés aux démantèlements à venir des installations nucléaires, des études portant sur l'intérêt et la faisabilité technico-économique d'optimiser l'utilisation des capacités du centre de stockage des déchets TFA soit par la densification des déchets métalliques et des matériaux concassés soit par leur valorisation au sein de la filière nucléaire ont été initiés par le PNGMDR 2010-2012.

Cette démarche a été poursuivie par le PNGMDR 2013-2015 qui a permis d'explicitier les conditions de valorisation des matériaux TFA. Un schéma industriel global de la filière de gestion des déchets TFA présentant plusieurs pistes complémentaires d'optimisation pouvant être mis en œuvre a été présenté lors de cette édition.

Le PNGMDR 2016-2018 demande que certaines des pistes étudiées (valorisation des matériaux concassés en stockage, extension des capacités du stockage) soient, sauf élément rédhibitoire, mises en œuvre et que la réflexion soit approfondie notamment pour les pistes de valorisation des matériaux métalliques, de densification du stockage et de création d'autres installations de stockage.

Un point d'étape général sur la filière est attendu pour fin 2020 par la mise à jour du schéma industriel global de gestion des déchets TFA.

## Gestion des déchets FA-VL

Conformément à un des objectifs de la loi du 28 juin 2006 qui demande de mettre au point des solutions de stockage pour les déchets graphites et les déchets radifères, et après que les études de faisabilité d'un tel concept de stockage ont été réalisées, le PNGMDR 2007-2009 a demandé à l'Andra d'analyser la conformité des sites candidats aux critères de choix géologiques et environnementaux.

En 2009, les représentants des deux sites pressentis pour les reconnaissances géologiques se sont désistés. Le PNGMDR 2010-2012 a donc demandé à l'Andra d'étudier de nouveau les différentes options de gestion des déchets FA-VL. L'agence a remis au gouvernement en fin d'année 2012 un rapport proposant différents scénarios de gestion des déchets FA-VL et la reprise du processus de recherche de site au plus tôt en 2013. Un dossier concernant la faisabilité d'un centre de stockage sur un site de la région de Soulaines a été remis fin 2015 dans le cadre du PNGMDR 2013-2015.

Au regard des incertitudes demeurant sur la capacité de ce site à accueillir l'ensemble des déchets prévus dans l'inventaire de référence du centre de stockage FA-VL, le PNGMDR 2016-2018 demande notamment la poursuite des investigations géologiques sur le site étudié, l'évaluation de l'inventaire des déchets FA-VL susceptibles d'y être stockés, ainsi que la remise à mi-2019 d'un rapport présentant les options techniques et de sûreté de cette installation de stockage.

Un schéma industriel global de gestion de l'ensemble des déchets radioactifs FA-VL est par ailleurs attendu avant fin 2019.

## Gestion des déchets HA et MA-VL

Dans la continuité de la loi du 30 décembre 1991, la loi du 28 juin 2006 a demandé de poursuivre les recherches et études relatives aux déchets radioactifs à vie longue de haute ou de moyenne activité selon les trois axes complémentaires :

- la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, afin notamment d'évaluer les perspectives industrielles d'utilisation dans de nouvelles générations de réacteurs ;
- le stockage réversible en couche géologique profonde, afin de choisir un site et de concevoir un centre de stockage dont la mise en exploitation est demandée pour 2025 ;
- l'entreposage, afin de créer au plus tard en 2015 des installations dédiées répondant aux besoins recensés par le plan, notamment en termes de capacité et de durée.

Les études demandées par les PNGMDR successifs ont visé à coordonner la mise en application des axes de recherches précités. Ces travaux se sont concrétisés, pour ce qui concerne le stockage par :

- le choix et la qualification d'une zone restreinte pour l'implantation du stockage, ainsi que la remise d'un dossier technique présentant les options de conception et de sûreté du stockage en 2009 ;
- la réalisation d'un débat public sur « le projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne » en 2013 ;
- la prise en compte des éléments soulevés lors du débat public de 2013, incluant notamment le dépôt d'un dossier d'options de sûreté, remis en 2016, et l'intégration d'une phase industrielle pilote au démarrage de l'installation.
- la définition de la notion de réversibilité par le Parlement en 2016.

Depuis l'édition 2013-2015, le PNGMDR a renforcé ses demandes d'études destinées à assurer la bonne articulation entre les différentes opérations de gestion des déchets HA et MA-VL se déroulant en amont du stockage : conditionnement, entreposage, transports. Cette démarche est poursuivie dans le PNGMDR 2016-2018 qui demande notamment de compléter le recensement des besoins en capacités d'entreposage en prenant des marges temporelles significatives, et en tenant compte de l'ordonnancement des expéditions vers le centre de stockage en projet.

### Déchets nécessitant des travaux spécifiques

Les travaux engagés depuis le PNGMDR 2007-2009 sur les déchets nécessitant des travaux spécifiques ont notamment permis :

- de définir et d'harmoniser en 2008 le cadre réglementaire applicable à la gestion des déchets et des effluents radioactifs des « petits producteurs » ;
- de définir en 2009 un schéma d'orientation pour l'entreposage des déchets tritiés, associant à chaque famille de déchets tritiés un concept d'entreposage d'une durée suffisamment longue pour permettre la décroissance de l'activité des colis et leur prise en charge dans une filière d'élimination ;
- d'améliorer le recensement des sources scellées usagées et de se doter d'un schéma global pour leur gestion ;
- de progresser dans la définition de solutions de traitement pour la prise en charge des déchets sans filière amiantés, mercuriels et liquides organiques.

Les orientations du PNGMDR 2016-2018 sont dans la continuité des plans précédents et visent à améliorer les solutions pour la gestion à long terme des déchets nécessitant des travaux spécifiques. Un objectif est fixé à 2030 pour la définition d'une filière de gestion définitive pour l'ensemble des déchets sans filière produits avant fin 2015.

### Modalités d'information du public

L'amélioration de l'information du public est un objectif de chaque nouvelle édition du PNGMDR. En plus de la publication d'une synthèse du plan depuis l'édition 2010-2012 et des efforts éditoriaux pour rendre le plan plus accessible, l'ensemble des travaux associés au PNGMDR et suivis au sein d'un groupe de travail pluraliste sont rendus publics (études et recherches menés, avis sur les études, comptes rendus de réunions, présentations, etc.).

De façon nouvelle et conformément aux dispositions des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement, le PNGMDR 2016-2018 est par ailleurs complété d'une évaluation environnementale destinée à renforcer la prise en compte des thématiques environnementales dans le plan.

## Études demandées par le PNGMDR 2016-2018

	Rédacteur	Date de remise
<b>Les principes à prendre en compte pour définir une filière de gestion de déchets radioactifs</b>		
Rapport sur la méthodologie et les critères envisageables pour apprécier la nocivité des matières et déchets radioactifs	IRSN	31 décembre 2017
<b>Le coût de la gestion des matières et des déchets radioactifs</b>		
Éléments détaillés sur les coûts de gestion des combustibles usés et des déchets détenus ou gérés	Areva, CEA, EDF, Andra	31 décembre 2017
<b>La gestion des matières radioactives</b>		
Demande d'extension des capacités d'entreposage d'uranium appauvri auprès de l'autorité administrative compétente.	Areva	31 décembre 2017 <sup>221</sup>
Faisabilité d'un concept de stockage de l'uranium appauvri, coût associé, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par ses détenteurs.	Andra	31 décembre 2019
Demande de création ou d'extension des capacités d'entreposage d'URT auprès de l'autorité administrative compétente.	Areva	31 décembre 2017
Stratégie permettant de réduire à moyen terme la croissance des stocks d'URT détenus puis d'assurer le plafonnement de ces stocks.	Areva, EDF	31 décembre 2017
Faisabilité d'un concept de stockage de l'uranium de retraitement en indiquant le coût associé, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par ses détenteurs.	Andra	31 décembre 2019
Étude comparée des impacts pour l'environnement d'une stratégie de retraitement des combustibles usés par rapport à l'absence de retraitement.	Areva, en lien avec EDF, le CEA et l'Andra	30 juin 2018
Stratégie de gestion des capacités d'entreposage de combustibles usés REP (UO <sub>x</sub> , URE et MO <sub>x</sub> usés) et le calendrier associé à la création de nouvelles capacités d'entreposage	EDF	31 mars 2017

<sup>221</sup> Si l'échéance envisagée de saturation des capacités actuelles d'entreposage est retardée d'ici le 31 décembre 2017, la date de dépôt de la demande peut être reportée selon le même délai.

Options techniques et de sûreté relatives à la création de nouvelles capacités d'entreposage (extension d'une installation existante ou création d'une nouvelle installation d'entreposage de combustibles usés).	EDF	30 juin 2017
Dépôt d'une demande d'autorisation de création d'un nouvel entreposage de combustibles usés.	EDF	31 décembre 2020
Faisabilité technique à grande échelle du traitement URE et MOx usés, quantités de Pu nécessaires à la mise en place d'un parc de RNR.	Propriétaires (dont EDF)	31 décembre 2017
Typologie de l'ensemble des combustibles usés détenus, les développements à réaliser pour permettre leur valorisation, ainsi que l'intérêt des propriétés des matières séparées en vue de leur réutilisation. Coût de traitement par rapport à leur stockage direct.	Propriétaires (dont CEA)	31 décembre 2017
Justifications complémentaires sur le caractère effectivement valorisable de l'ensemble des formes physico-chimiques et isotopiques de plutonium détenu.	CEA	31 décembre 2017
<b>La gestion des situations historiques</b>		
Investigations stockages historiques, avec inventaires physiques et radiologiques, et modes de gestion retenus.	Areva, CEA, EDF	31 décembre 2017
<b>La gestion des résidus de traitement miniers et des stériles miniers</b>		
Bilan d'étape sur la stratégie de gestion des eaux issues des anciens sites miniers.	Areva	31 décembre 2017 <sup>222</sup>
Étude sur les flux rejetés par le site de Bois-Noir-Limouzat.	Areva	31 mars 2017
Complément étude Bois-Noir-Limouzat par modélisation de la sédimentation et des transferts de radionucléides	Areva	31 décembre 2018
Recensement des verses à stériles.	Areva	31 décembre 2017
Étude sur l'évolution à long terme des stériles miniers.	Areva	31 juin 2018
Ajustage du modèle d'évolution des stériles miniers pour l'ensemble des verses à stériles.	Areva	31 décembre 2019
Modélisation du transfert d'uranium et de radium dans les sites de stockage de résidus.	Areva	31 décembre 2017
Ajustage du modèle d'évolution des stockages de résidus miniers uranifères.	Areva	31 décembre 2019

<sup>222</sup> Le bilan complet est demandé dans le cadre du PNGMDR 2019-2021.

Conclusions en termes de robustesse des digues ceinturant les stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium pour les durées de vie visées et propositions en termes de suivi et d'entretien des ouvrages ou de renforcement.	Areva	31 décembre 2018
Bilan de la campagne de recensement des stériles miniers ; fin des actions de traitement des stériles.	Areva	31 décembre 2017 ; 31 décembre 2019
<b>La gestion des déchets TFA</b>		
Méthodologie et incertitudes associées aux estimations prévisionnelles de la production de déchets TFA et études de cas de démantèlement pour chaque exploitant évaluant les volumes de déchets TFA produits selon plusieurs scénarios d'assainissement.	Areva, CEA, EDF	30 juin 2018
Retour d'expérience de la mise en œuvre du zonage déchets.	Areva, CEA, EDF	30 décembre 2020
Étude sur l'utilisation de gravats TFA comme matériau de comblement au Cires.	Andra	31 mars 2017
Mise en œuvre de la valorisation des gravats TFA au Cires.	Andra	31 décembre 2018
Options techniques et de sûreté d'une installation de traitement de matériaux métalliques et filières de valorisation associées	Areva, EDF	30 juin 2018
Comparaison incinération-stockage des résidus par rapport au stockage direct des déchets TFA incinérables	Andra en lien avec Socodei et les producteurs	30 décembre 2017
Faisabilité de la création de centres de stockage TFA à proximité des sites INB existants	Areva, CEA, EDF, Andra	30 juin 2020
Étude sur les modalités de densification du stockage TFA	Andra et producteurs	30 juin 2018
Étude sur la faisabilité technico-économique de la fusion de déchets métalliques TFA en vue de leur densification	Producteurs et Socodei en lien avec l'Andra	30 juin 2018
Demande d'extension des capacités du Cires pour une même emprise au sol.	Andra	6 ans avant la saturation <sup>223</sup>
Mise à jour des critères d'acceptation au stockage TFA des substances thorifères et uranifères.	Andra	31 décembre 2020
Mise à jour du schéma industriel global de gestion des déchets TFA et proposition de grille d'analyse multicritères permettant de justifier la pertinence des choix de gestion des déchets TFA, notamment sur le plan environnemental	Andra	31 décembre 2020

<sup>223</sup> Sous réserve que la possibilité d'une extension du Cires soit confirmée.

Étude sur les transports de déchets radioactifs TFA	Areva, CEA, EDF	31 décembre 2018
<b>La gestion des déchets FMA-VC</b>		
Avant-projet sommaire d'une installation de traitement du plomb	Areva, CEA, EDF en lien le cas échéant avec Socodei	31 décembre 2018
Étude sur les transports de déchets radioactifs FMA-VC	Areva, CEA, EDF, Socodei	31 décembre 2017
<b>La gestion des déchets FA-VL</b>		
Options techniques et de sûreté d'une installation de stockage à faible profondeur de déchets FA-VL	Andra	30 juin 2019
Rapport intermédiaire sur le stockage FA-VL définissant les exigences de sûreté applicables au stockage	Andra	30 juin 2018
Dossier d'options de sûreté (niveau APS) d'un centre de stockage de déchets FA-VL	Andra	31 décembre 2021
Proposition d'une date de mise en service prudente du stockage FA-VL	Andra	31 mars 2017
Rapport d'étape sur le traitement-décontamination des déchets de graphites	CEA, EDF	31 décembre 2017
Options techniques et de sûreté (niveau APS) d'une installation de traitement des déchets de graphite	CEA, EDF	31 décembre 2019
Étude sur l'évaluation de l'inventaire en chlore 36 des déchets de graphite	EDF	30 juin 2019
Résultats intermédiaires des mesures sur les déchets de graphite	CEA	30 juin 2019 <sup>224</sup>
Schéma industriel global de gestion des déchets FA-VL	Andra en lien avec les producteurs	31 décembre 2019
Méthodologie de recherche d'un nouveau centre de stockage FA-VL	Andra	30 juin 2018
Détail des capacités d'entreposage et stratégie de création de nouvelles capacités pour les déchets FA-VL	Producteurs et détenteurs de déchets FA-VL	31 décembre 2017
Options techniques et de sûreté (niveau APS) d'un entreposage de déchets graphite pour les déchets des silos de Saint-Laurent des Eaux	EDF	31 décembre 2019
<b>La gestion des déchets HA-MAVL</b>		
Mise à jour, si nécessaire, du calendrier de Cigéo	Andra	30 juin 2017
Évaluation de l'acceptabilité dans Cigéo des colis de déchets déjà conditionnés	Areva, CEA, EDF	2 ans après la remise des spécifications d'acceptation par l'Andra
Évaluation du comportement des colis de déchets bitumés (notamment réactivité et	CEA, en lien avec l'Andra et les propriétaires de déchets	30 juin 2017 ; 30 juin 2018

<sup>224</sup> Les résultats complets sont demandés avant le 31 décembre 2021.

vieillessement) ; Impact de cette évaluation sur les conditions d'accueil dans Cigéo	bitumés ; Andra	
Modalités de transports des colis de déchets bitumés	Areva, CEA	30 juin 2018
Avancement des travaux sur les modes de traitement et de conditionnement des colis de déchets bitumés (FA-VL et HA-MAVL)	CEA	30 juin 2018
Évaluation technique, économique et de sûreté comparant les différents modes de traitement et de conditionnement envisagés pour les déchets bitumés	Areva, CEA, EDF et Andra	31 décembre 2019
Schéma de reprise des déchets de structure et des combustibles usés UNGG entreposés à Marcoule	CEA	31 décembre 2017
Point d'étape du développement du procédé d'incinération/vitrification PIVIC	AREVA	31 décembre 2018
Inventaire prospectif des matières et déchets produits par le parc de réacteurs français selon différents scénarios et emprise de ces substances en stockage en couche géologique profonde	CEA	30 juin 2018
Programme d'étude pour démontrer la capacité d'Astrid à multi-recycler le plutonium contenu dans les combustibles MOx usés, à stabiliser ou réduire les inventaires en plutonium et à transmuter l'américium	CEA	31 décembre 2018
Éléments techniques sur la base desquels l'abandon de l'entreposage à faible profondeur a été décidé	Andra	31 décembre 2017
Besoins en entreposages de déchets HA-MAVL pour les vingt prochaines années	Areva, CEA, EDF	30 juin 2017
Mise à jour du plan de mise à disposition des emballages de transports de déchets vers Cigéo	Areva, CEA, EDF	31 décembre 2017
Étude sur le transport des déchets HA-MAVL vers Cigéo	Areva, CEA, EDF, en lien avec Andra	31 décembre 2017
Étude des modalités de gestion des colis de déchets MA-VL dégradés qui auraient été retirés du stockage	Andra	/
Inventaire des déchets à inclure dans les réserves de Cigéo	Andra	31 mars 2017
Évaluation du coût du stockage des combustibles usés dans Cigéo	Andra	31 décembre 2018
<b>La gestion des déchets nécessitant des travaux spécifiques</b>		
Acceptabilité des déchets mercuriels stabilisés par le soufre dans les centres de stockage existant	Andra	31 décembre 2017

Poursuite des études sur les modalités de traitement/conditionnement des autres types de déchets mercuriels pour lesquels une filière de gestion n'est pas encore définie.	Areva, CEA, EDF	/
Point d'avancement relatif au développement et à la mise en œuvre des procédés envisagés pour le traitement des huiles et liquides organiques	Areva, CEA	31 décembre 2017
Étude de l'acceptabilité des déchets liquides et organiques qu'ils détiennent dans les filières mises en place par Areva et le CEA	EDF, Andra	/
État d'avancement relatif à la prise en charge des déchets activés des petits producteurs.	Andra	31 décembre 2017
Comparaison pour différentes typologies de déchets tritiés de différentes solutions de gestion : entreposage, incinération, stockage direct.	CEA, Socodei en lien avec l'Andra	31 décembre 2017
Étude de la possibilité de prendre en charge, pour entreposage ou stockage, dans ses installations les déchets tritiés de responsables défaillants	Andra	31 décembre 2020
État d'avancement de la recherche de filières de gestion adaptées pour les déchets tritiés gazeux et liquides des petits producteurs hors électronucléaire	Andra	31 décembre 2019
Stratégie envisagée pour la gestion des déchets tritiés solides des petits producteurs dans l'attente de la mise en service des installations d'entreposage prévues pour ITER.	Andra	31 décembre 2017
Présentation du déploiement des filières de gestion des sources scellées usagées considérées comme des déchets	Andra	31 décembre 2017
Rapport d'avancement des recherches sur les solutions de gestion définitives pour les déchets entreposés sur l'INB ECRIN	Areva	31 juillet 2020
Stratégie de gestion pour les boues déshydratées actuellement produites par l'usine de Malvési qui ne seront pas entreposées dans l'INB ECRIN	Areva	31 décembre 2017

## Annexe 2 : Dimension sociétale, concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture des stockages de déchets radioactifs, préservation de la mémoire

La recherche en sciences humaines et sociales a pour objet d'intégrer une dimension sociétale aux différents projets relatifs à la gestion des déchets et à son articulation dans une perspective transdisciplinaire. Les études menées concernent plus particulièrement la gestion des déchets les plus radioactifs qui soulèvent des questions complexes relatives à la nécessité d'appréhender des événements sur de longues échelles de temps. La question de la préservation et de la transmission de la mémoire à long terme, au-delà de la fermeture des centres de stockage nécessite notamment d'être anticipée.

### Dimension sociétale

L'intervention des Sciences Humaines et Sociales (SHS) dans le domaine de la gestion des déchets et des matières radioactives se justifie en amont par la volonté de rendre plus robustes les différentes solutions préconisées. L'acceptabilité de celles-ci, qui relève *in fine* de l'ordre politique, est facilitée lorsqu'on aborde l'ensemble des phénomènes impliqués dans un cadre adapté, sans négliger leurs dimensions socio-économiques, environnementales, politiques, culturelles... et que l'on articule les différentes perspectives scientifiques et techniques en jeu. Une R&D unidimensionnelle et fermée sur elle-même a peu de chances de faire réussir les projets techniques, comme le montre l'histoire de la gestion des déchets nucléaires en France d'avant 1991. La recherche en SHS a donc pour objet d'intégrer les dimensions sociétales des différents projets en cours et leur articulation dans une perspective transdisciplinaire. Les collaborations avec des chercheurs issus de ces disciplines doivent viser, dès le départ, la constitution de communautés spécialisées autour de sujets d'intérêt commun avec les opérateurs et les parties prenantes.

Les recherches de l'Andra dans le domaine des SHS s'attachent aux dimensions sociétales (socio-économiques, politiques, culturelles...) des projets de l'agence et visent ainsi à améliorer la robustesse de ceux-ci dans une perspective transdisciplinaire. La thématique de la réversibilité a été privilégiée à ce titre dans un premier temps, donnant lieu à plusieurs manifestations scientifiques et publications, ainsi qu'à la réalisation d'une thèse de doctorat en sciences économiques. L'Andra cherche actuellement à développer cette démarche durablement par la mise en place d'un groupement de laboratoires interdisciplinaire en sciences humaines et sociales autour de la thématique générale « transmission intergénérationnelle et appréhension des longues échelles de temps ». Le choix de cette thématique se justifie par le fait que la dimension temporelle impliquée dans les activités de l'Andra, en particulier dans la gestion de déchets les plus radioactifs, est en effet unique en comparaison avec d'autres domaines industriels. Cette spécificité soulève des questions d'une très grande complexité qui concernent notamment la capacité d'anticiper et d'appréhender des événements sur des longues durées et en assurer leur maîtrise.

D'autres sujets de recherche, moins avancés dans leur définition, pourraient être intégrés dans ce cadre dans un avenir proche, en particulier dans les domaines de l'économie du long terme et des études environnementales, ou suscitées par les nouveaux programmes en SHS du CNRS et l'IRSN, en cours de mise en place.

Le programme NEEDS (Nucléaire, Énergie, Environnement, Déchets, Société) du CNRS intègre les SHS dans la réflexion sur le nucléaire et envisage d'aborder la question de la temporalité d'une manière plus générale, sous l'angle de la gestion et de l'évaluation des risques. Ce programme entend également capitaliser les connaissances acquises en SHS sur le thème des déchets nucléaires, à partir notamment des nombreux travaux réalisés au CNRS sur cette question.

Les axes de recherche de l'Andra et du CNRS sont détaillés dans le volet recherche en annexe 3 du PNGMDR.

## **Concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture**

### Cas des installations classées pour la protection de l'environnement :

#### *Le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)*

L'exploitation de l'installation de stockage des déchets TFA au Cires est encadrée par l'arrêté n° 2012-040-0002 autorisant l'exploitation de cette première installation classée pour la protection de l'environnement dédiée au stockage de déchets radioactifs. Cet arrêté s'inspire de la réglementation applicable au stockage de déchets dangereux (arrêté ministériel du 30 décembre 2002 modifié). Par ailleurs, l'Andra a souhaité suivre la même méthodologie pour l'évaluation de l'impact à long terme du centre de stockage des déchets TFA que celle déjà suivie pour les centres de stockage de déchets de faible et moyenne activité, le centre de stockage de la Manche et le centre de stockage des déchets FMA de l'Aube.

L'arrêté présente donc les exigences de moyens imposées aux installations de stockage de déchets dangereux par la réglementation ainsi que des exigences spécifiées complémentaires issues des évaluations de sûreté réalisées pour toutes les phases de vie de l'installation, de la phase chantier à la phase post-surveillance.

Conformément à l'arrêté d'autorisation, l'Andra proposera au préfet un projet définissant des servitudes à instituer sur tout ou partie de l'installation au plus tard un an après la fin de la période d'exploitation. Ces servitudes pourront interdire l'implantation de constructions et d'ouvrages susceptibles de nuire à la conservation de la couverture du site et à son contrôle. Elles devront aussi assurer la protection des moyens de collecte des lixiviats avant le scellement des puits en fin de phase de surveillance et le maintien durable du confinement des déchets mis en place. Par ailleurs, la phase de surveillance sera destinée à suivre, pendant au moins trente ans après le dernier apport de déchets, l'évolution du stockage et sa conformité par rapport aux prévisions et à l'arrêté préfectoral. À cette fin, des contrôles seront maintenus, notamment :

- l'entretien régulier du site (fossés, couverture, bassins, clôture, ...)
- les observations géotechniques du site avec un report régulier au moins annuel sur un plan topographique ;
- des mesures périodiques portant sur la qualité des eaux collectées sur le centre et rejetées dans l'environnement ainsi que des contrôles des compartiments de l'écosystème dans l'environnement proche du centre de stockage des déchets TFA.

L'ensemble de ces mesures sera destiné à vérifier l'absence de pollution radioactive ou chimique dans l'environnement du centre. Le cas échéant, elles permettront de mettre en évidence de façon précoce des anomalies de comportement et d'anticiper d'éventuelles actions de remédiation.

À l'issue de cette phase de surveillance, le maintien de la mémoire repose en particulier sur les servitudes inscrites *a minima* au registre des hypothèques.

#### Cas des installations nucléaires de base :

Le cadre législatif applicable aux installations nucléaires de base pour la période postérieure à la fermeture des installations s'appuie notamment :

- sur la loi relative à la croissance énergétique pour la croissance verte (TECV, loi n° 2015-992 du 17 août 2015) qui précise les dispositions concernant l'arrêt définitif et le démantèlement des installations de stockage de déchets radioactifs (article 127) ;
- sur la loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (TSN, loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 codifiée) qui précise que le passage en phase de surveillance d'une INB est soumis à autorisation (article L. 593-25 du code de l'environnement) et que l'autorité administrative peut instituer des servitudes d'utilité publique autour de cette INB (article L. 593-5 du code de l'environnement) ;
- sur le décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 qui précise le contenu du dossier de demande d'autorisation de passage en phase de surveillance. Ce dossier contient notamment : l'étude d'impact, un rapport de sûreté, une étude de maîtrise des risques, les règles générales de surveillance et le cas échéant, les servitudes d'utilité publique (cf. article 43 de ce décret) ;
- sur l'arrêté du 7 février 2012 qui fixe les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Cet arrêté dispose au Chapitre V relatif aux stockages de déchets radioactifs que : « Dans le respect des objectifs énoncés par l'article L. 542-1 du code de l'environnement, le choix du milieu géologique, la conception et la construction d'une installation de stockage de déchets radioactifs, son exploitation et son passage en phase de surveillance sont définis de telle sorte que la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement soit assurée de façon passive vis-à-vis des risques présentés par les substances radioactives ou toxiques contenues dans les déchets radioactifs après le passage en phase de surveillance. Cette protection ne doit pas nécessiter d'intervention au-delà d'une période de surveillance limitée, déterminée en fonction des déchets radioactifs stockés et du type de stockage. L'exploitant justifie que la conception retenue répond à ces objectifs et justifie sa faisabilité technique. »

#### *Le centre de stockage de la Manche*

D'un point de vue réglementaire, le centre de stockage de la Manche (CSM) est une installation nucléaire de base (INB n° 66) dédiée au stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte, en surface. Le décret d'autorisation de création date de juin 1969. Le passage de l'installation en phase de surveillance a été autorisé par décret n° 2003-30 du 10 janvier 2003. Cette phase de surveillance est prévue conventionnellement pour une durée de trois cents ans et assortie d'une autorisation de rejets datée en date 10 janvier 2003. En 1996, sur la base des conclusions de la Commission d'évaluation de la situation du centre de stockage de la Manche (dite « Commission Turpin »), il a été pris acte que « le site ne pourra pas être banalisé » après cette période de surveillance. L'Andra a donc retenu la nécessité de conserver, et à terme, de

transmettre la mémoire du site et de prendre toutes les mesures nécessaires pour limiter la nature des constructions ou équipements qui pourraient y être installés.

Les concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture comprennent : la conception de l'installation, la surveillance et le maintien de la mémoire :

- les dispositions relatives à la conception ont été prises par l'exploitant durant la phase d'exploitation. Ainsi le stockage après fermeture correspond à un tumulus dans lequel les colis de déchets stockés dans des ouvrages sont protégés des agressions climatiques par une couverture de faible perméabilité ; un système de gestion des effluents permet de récupérer les eaux infiltrées à travers la couverture et/ou dans le stockage. Les eaux récupérées font l'objet d'un transfert vers l'installation de traitement d'Areva La Hague, conformément à l'arrêté d'autorisation de rejets ;
- le décret n° 2003-30 d'autorisation de passage en phase de surveillance mentionne que l'exploitant assure une surveillance appropriée de l'installation et de son environnement. Celle-ci est définie dans le plan réglementaire de surveillance qui intègre la surveillance de la couverture, du confinement des ouvrages de stockage et des rejets du centre. Ce plan précise que les résultats sont régulièrement diffusés auprès de l'ASN (rapport annuel) et du public (synthèse du rapport annuel présentée à la CLI). Le décret définit également que la protection de l'installation contre les risques d'intrusion et les actes de malveillance est assurée pendant toute la phase de surveillance. De plus, le décret précise que, tous les dix ans, l'exploitant étudie l'opportunité de faire évoluer les dispositions de surveillance et de protection de son installation ;
- en termes de maintien de la mémoire de l'installation, trois axes sont identifiés :
  - l'archivage à long terme des informations : le décret n° 2003-30 définit les attendus liés à l'archivage à long terme des informations :
    - la mémoire détaillée : les documents sont dupliqués sur papier permanent et sont archivés en deux lieux distincts, au Centre de stockage de la Manche et aux Archives nationales de France. Des versements complémentaires sont réalisés tous les 5 à 10 ans en fonction de l'évolution du Centre ;
    - la mémoire de synthèse : une première version de ce document d'une centaine de pages a été soumise à l'ASN et à la CLI en 2008. Il est prévu que ce document soit révisé au fur et à mesure des examens de sûreté pour y intégrer le retour d'expérience de la surveillance. Lorsqu'il sera considéré comme stabilisé, il sera imprimé sur papier permanent et largement diffusé conformément à ce que prévoient les prescriptions techniques ;
  - l'information du public, notamment pendant la phase de surveillance, via notamment les échanges avec la CLI et via les actions de communication ;
  - le projet de demande d'instauration de servitudes d'utilité publique pour limiter le risque d'intrusion dans le stockage le plus longtemps possible au-delà de la phase de surveillance. De telles servitudes ont été suggérées par la commission Turpin et envisagées par l'Andra, dans le rapport de sûreté de 2009, en application de l'article 31 de la loi n°2006-686 du 13 juin 2006.

### *Le centre de stockage de l'Aube*

D'un point de vue réglementaire, le centre de stockage des déchets FMA de l'Aube - qui a pris le relais du centre de stockage de la Manche - est également une installation nucléaire de base (INB)

n° 149). Le décret d'autorisation de création, datant du 4 septembre 1989, a été modifié par le décret n°2006-1006 du 10 août 2006 assorti de l'arrêté d'autorisation de rejets du 21 août 2006.

En ce qui concerne la période après-exploitation, le décret d'autorisation de création du centre de stockage des déchets FMA prévoit notamment que : (i) pendant la phase de surveillance, « les ouvrages seront protégés par une couverture de très faible perméabilité » et « l'installation continuera d'être surveillée pendant une durée permettant la décroissance radioactive des radionucléides de période courte ou moyenne, jusqu'à un niveau ne présentant plus de risque radiologique significatif. » ; (ii) à l'issue de la phase de surveillance, « les terrains occupés par l'installation devront pouvoir être utilisés normalement sans restriction de nature radiologique [...] au plus tard 300 ans après la fin de la phase d'exploitation ».

En complément à l'aspect réglementaire, l'Andra suit également les recommandations de la RFS I.2 qui définit les objectifs fondamentaux de sûreté pour les centres de surface destinés au stockage de déchets radioactifs solides FMA-VC, en particulier les bases de conception d'un stockage et la surveillance de l'installation durant les phases d'exploitation et de surveillance.

À l'instar du CSM, les concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture du centre de stockage des déchets FMA comprennent : la conception de l'installation, la surveillance et le maintien de la mémoire :

- les dispositions relatives à la conception sont prises par l'exploitant durant la phase d'exploitation conformément à ce que prévoit la RFS I.2 :
  - o la limitation de l'activité initiale : les déchets radioactifs admis au centre de stockage des déchets FMA sont des déchets à période courte ou moyenne avec des quantités limitées de radionucléides à vie longue, et de faible ou moyenne activité massique. L'objectif est que l'activité des radionucléides stockés ait largement décru pendant les 300 ans de surveillance de l'installation ;
  - o le confinement des déchets est assuré par le colis et l'ouvrage pendant la phase d'exploitation auxquels s'ajoute la couverture et réseaux de collecte des eaux d'infiltration pendant la phases de surveillance et par la formation géologique sur laquelle est implantée le stockage, en particulier en phase de post surveillance ;
- les dispositions relatives à la surveillance de l'installation et de son environnement. À la fermeture du centre, conformément au décret n° 2007-1557, l'Andra demandera l'autorisation de passage en phase de surveillance et proposera des règles générales de surveillance. Un décret devra autoriser le passage en phase de surveillance. La démarche de surveillance mise actuellement en œuvre dans le cadre de la phase d'exploitation perdurera, dans son principe, pendant la phase de surveillance. Cette surveillance s'appuie sur un certain nombre de mesures (radiologiques, chimiques, hauteurs de nappe phréatique, hydrologiques, climatologiques notamment) dont le suivi dans le temps doit permettre de : (1) vérifier le bon fonctionnement du stockage en s'assurant de l'absence de disséminations inacceptables de radioéléments initialement contenus dans le stockage ; (2) détecter toute situation ou évolution anormale afin d'en identifier et d'en localiser les causes et d'engager les actions correctives nécessaires ; (3) aboutir à une compréhension suffisante des mécanismes d'évolution du stockage ; (4) évaluer l'impact radiologique et chimique du stockage sur la population et l'environnement et de suivre son évolution, afin de vérifier le respect des exigences réglementaires ; (5) assurer la protection de l'installation contre les risques d'intrusion et les actes de malveillance ;
- les dispositions relatives au maintien de la mémoire : l'Andra s'appuie sur la solution de référence développée pour le CSM, qui est préparée dès l'exploitation. Par ailleurs la CLI devrait perdurer en phase de surveillance et permettre ainsi l'information et la concertation du public.

Le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde édicté par l'Autorité de Sûreté en 2008 définit :

- l'objectif fondamental de sûreté : la protection de la santé des personnes et de l'environnement comme l'objectif fondamental de sûreté du stockage. Après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnels qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée ;
- les bases de conception et les principes de sûreté ;
- la surveillance et le maintien de la mémoire : un programme de surveillance de l'installation doit être mis en œuvre pendant la construction des ouvrages de stockage et jusqu'à la fermeture de l'installation. Certaines dispositions de surveillance pourraient également être maintenues après la fermeture de l'installation. La nécessité de mettre en œuvre cette surveillance doit être prise en compte dès la conception du système de stockage. La mémoire doit être maintenue après la fermeture du site.

Le projet de stockage Cigéo sera conçu dans une couche géologique profonde, le Callovo-Oxfordien, pour permettre de confiner durablement les substances qui contiennent les déchets de Haute Activité et de Moyenne Activité à vie longue. Selon l'Article L. 542-10-1 du code de l'environnement « *Un centre de stockage en formation géologique profonde de déchets radioactifs est une installation nucléaire de base* ». Le projet Cigéo s'inscrit ainsi dans le cadre de la réglementation applicable aux INB telle que définie en partie 1 de ce PNGMDR.

Conformément au cadre réglementaire, notamment l'arrêté du 7 février 2012, et du guide de sûreté de l'ASN susvisé, le projet de stockage Cigéo est conçu pour évoluer d'une sûreté active à une sûreté totalement passive, où aucune action de l'homme ne sera plus nécessaire. Après l'exploitation, l'installation sera fermée et placée en phase de surveillance.

Comme pour les centres de surface, les concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture du projet de stockage Cigéo comprennent la conception des installations de stockage, la surveillance et le maintien de la mémoire :

- les dispositions relatives à la conception : pour répondre aux objectifs de sûreté après fermeture, le stockage en formation géologique profonde est conçu de manière à pouvoir garantir et démontrer la sûreté en exploitation et à long terme après sa fermeture tant pour l'homme que l'environnement, tout en étant réversible sur une durée d'au moins 100 ans. Conformément à la réglementation et au guide ASN, l'installation souterraine de stockage une fois fermée devra satisfaire aux objectifs de sûreté après fermeture de manière passive. La sûreté de l'installation repose ainsi sur un ensemble de composants afin de confiner la radioactivité et d'isoler les déchets des possibles agressions externes ;
- les dispositions relatives à la surveillance de l'installation et de son environnement. Des moyens seront mis en place pour maintenir la mémoire et la surveillance le plus longtemps possible. Une surveillance de l'environnement est envisagée avant la construction (état initial), pendant la construction et pendant toute la durée d'exploitation ; elle pourra se poursuivre après la fermeture de l'installation souterraine et le démantèlement des installations d'exploitation en surface. Cette surveillance répondra aux exigences réglementaires des suivis des impacts de l'installation. L'ensemble de ces mesures sera destiné à vérifier l'absence de pollution radioactive ou chimique dans l'environnement du centre et s'assurer ainsi du bon fonctionnement du

stockage. L'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) offre un cadre pour la surveillance de l'environnement avant et pendant la construction et l'exploitation. Par ailleurs, un programme de surveillance est conçu, en particulier en lien avec la sûreté après fermeture pour suivre un certain nombre de paramètres dans l'installation souterraine pendant la phase d'exploitation du stockage. Les moyens mis en œuvre pour la surveillance après fermeture du projet Cigéo se fonderont notamment sur le retour d'expérience des centres de surface ;

- les dispositions relatives au maintien de la mémoire sont conçues selon un axe privilégié : la transmission aux générations futures pour les informer de l'existence et du contenu de l'installation et pour leur fournir des connaissances leur permettant de comprendre leurs observations, de faciliter d'hypothétiques actions ou de transformer le site. Actuellement la solution de référence retenue par l'Andra pour assurer la mémoire de ses centres de stockage (voir le paragraphe dédié ci-après) repose sur six dispositifs : (i) trois dispositifs de mémoire dite « active » pour assurer la préservation de la mémoire à court et moyen termes, et (ii) trois dispositifs de mémoire dite « passive » pour le plus long terme. Ce dispositif de référence doit être mis en œuvre pour le projet de stockage Cigéo avec une exigence de pérennité de la mémoire après fermeture de l'installation, le plus longtemps possible, et sur cinq siècles au moins. À ce stade du projet, la solution de référence mise en place au centre de la Manche sert de base pour le dispositif de mémoire à mettre en place pour le projet de stockage Cigéo.

#### *Projet de stockage des déchets de faible activité à vie longue*

L'Andra s'appuie sur la « note d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage de déchets de faible activité massique à vie longue » publiée par l'ASN en mai 2008. Elle définit ainsi que :

- après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnels qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée.
- pour ce qui concerne la phase de surveillance, le concepteur doit s'interroger sur les moyens d'assurer cette surveillance dès la conception de l'installation de stockage.

Les concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture du projet FAVL sont étroitement liés aux concepts développés, au(x) site(s) choisi(s) pour l'implantation des stockages ainsi qu'à la nature des déchets stockés. Des dispositions seront prises en matière de surveillance après fermeture du stockage. Elles seront étudiées et précisées au fur et à mesure de l'avancement des études de conception. Elles s'appuieront sur l'ensemble du retour d'expérience de l'exploitant Andra en la matière sur les autres centres.

### **La préservation et la transmission de la mémoire des stockages de l'Andra**

Tous les stockages exploités ou en projet de l'Andra prévoient la mise en place d'un dispositif mémoriel, afin de transmettre la mémoire de ces stockages après leur fermeture. La question de la préservation et de la transmission de la mémoire à long terme au-delà de la fermeture des centres de stockage se situe sur un plan différent de celui de la gestion des connaissances mise en œuvre pour un projet industriel classique. De tels dispositifs de gestion des connaissances sont utilisés à l'Andra comme ailleurs, et évolueront nécessairement au fil des décennies. Pour autant, cette évolution ne peut garantir la transmission des connaissances et de la mémoire même du stockage

sur le très long terme, notamment quand plus aucun centre de stockage ne sera en activité. Il est donc nécessaire de prévoir, dès maintenant, ce dont auront besoin les générations futures pour préserver la mémoire du stockage, si l'évolution du système de gestion des connaissances ne suffisait pas à le maintenir opérationnel.

#### La solution de référence mise en place par l'Andra :

La problématique de la mémoire des centres de stockage a été prise en compte dès les années 1980 pour le centre de stockage de la Manche (CSM). Pour y répondre, une solution d'archivage sur papier permanent a été définie en 1995. En 1996, la commission Turpin a conforté les modalités retenues par l'Andra et préconisé de nouveaux développements. La solution de référence retenue par l'Andra pour la mémoire à long terme de ses centres de stockage s'appuie actuellement sur trois mémoires « passives » et trois mémoires « actives ».

Les trois dispositifs de mémoires « passives » sont :

- la « mémoire détaillée » constituée de toute la documentation technique nécessaire à la surveillance, la compréhension et la modification d'un centre de stockage. La constitution de la mémoire détaillée s'appuie sur la sélection et la hiérarchisation des informations par des scénarios d'évolution possible identifiés en cohérence avec l'approche de sûreté à long terme. Un ensemble d'instruments de recherche (inventaires, glossaire, index, résumés) en assure l'accessibilité et la compréhension. La pérennité des documents repose sur une sélection adaptée du couple « encre / papier permanent » et la conservation de deux exemplaires sur des sites distincts, le centre de stockage et les Archives nationales. Enfin, la validité et la mise à jour de la mémoire détaillée sont assurées par des versements complémentaires, tous les cinq ans et ce jusqu'au terme de la phase de surveillance ;
- la « mémoire de synthèse » est un document unique avec une approche synthétique d'informations techniques et historiques, destiné aux décideurs et aux publics. Des mises à jour sont prévues après chaque révision des rapports de sûreté. La force informative de la version définitive reposera sur sa grande diffusion : mairies, notaires, associations, conseil général, préfecture, ministères, institutions nationales et internationales, etc. ;
- l'inscription au cadastre de « servitudes d'utilité publique » assure une signalétique administrative du site avertissant du risque potentiel d'entreprendre des travaux sur ce site.

Les trois dispositifs de mémoires « actives » sont :

- l'évaluation décennale des dispositifs mémoriels passifs de sorte à s'assurer qu'ils répondront bien aux besoins des générations futures tels que nous pouvons les imaginer, mais également à créer durablement un « rite mémoriel » ;
- le développement de la communication avec les publics grâce à l'organisation de journées portes ouvertes, de conférences, d'expositions ou d'interviews, ainsi que par la diffusion d'outils de communication spécifiques à la mémoire, plaquettes et site Internet ;
- le renforcement du rôle des commissions locales d'information (CLI). La question de la mémoire fait partie des thématiques abordées par ces commissions et elles doivent permettre de la faire vivre localement.

L'analyse de l'ensemble de ce dispositif, notamment au regard du retour d'expérience sur la durabilité d'autres dispositifs mémoriels historiques amène à conclure à une bonne confiance pour sa pérennité sur quelques siècles. Cette solution de référence répond aussi aux exigences réglementaires s'imposant aux différents stockages de déchets radioactifs.

### Le programme mémoire de l'Andra :

La solution de référence retenue par l'Andra ne peut cependant être considérée, sans examen plus approfondi, comme correspondant à la meilleure solution disponible. Elle présente par ailleurs certains points de fragilité. Elle est très orientée sur la conservation de documents et ne considère pas assez d'autres supports. D'autre part, la réflexion sur son adéquation aux besoins potentiels des générations futures n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie. Enfin une conservation de la mémoire assurée pour « seulement » quelques siècles après la fermeture du stockage est estimée trop courte par plusieurs des parties prenantes de ce stockage, notamment pour les futurs riverains. En conséquence, l'Andra a décidé en 2010 de lancer un programme mémoire avec une double finalité : augmenter la robustesse de la solution de référence et développer les réflexions et les études sur la mémoire plurimillénaire.

Le programme mémoire comprend d'une part, des travaux visant à poursuivre la constitution de la mémoire des centres et l'amélioration de celle-ci, et d'autre part, des études scientifiques qui s'articulent autour de deux domaines : le vieillissement de matériaux et les sciences humaines et sociales (voir aussi l'annexe 3 de ce PNGMDR).

En ce qui concerne la constitution de la mémoire des centres et son amélioration, les travaux suivants sont engagés :

- la pertinence du dispositif mémoriel du centre de stockage de la Manche face aux besoins des générations futures est analysée tous dix ans en réunissant un groupe de parties prenantes internationales afin de s'interroger périodiquement sur son adéquation et sa complétude. Un premier exercice de ce type a été mené en 2012, permettant d'identifier des améliorations à apporter au dispositif ;
- la préparation de la mémoire du projet de stockage géologique Cigéo est engagée : constitution de la mémoire détaillée du laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne, et des autres éléments concernant la préparation de la création de Cigéo (sélectionner parmi tout ce qui a été produit depuis le début des années 1980 ce qui doit être conservé comme éléments ayant permis de décider de créer Cigéo) ;
- l'utilité « technique » de la mémoire doit être mieux explicitée, d'une part pour préciser quels sont les bénéfices de la mémorisation pour la sûreté à long terme et d'autre part pour préciser le besoin lié à la réversibilité ;
- l'Andra propose, autour de ses sites, la mise en place de groupes de réflexions afin d'intéresser les populations locales à cette problématique, mais aussi de recueillir leurs idées sur la façon dont localement elles pourraient se l'approprier ;
- des collaborations avec plusieurs artistes français et internationaux sont mises en place, dans des domaines artistiques différents, pour bénéficier de leur vision de la problématique de la mémoire des stockages au travers de leur art ;
- l'Andra participe aux travaux internationaux sur la mémoire dans le cadre du groupe de travail AEN/RWMC/RK&M (benchmark des pratiques des différents pays participants, définitions et bibliographie communes, et élaboration de recommandations) ;
- la création d'espaces dédiés à la mémoire est envisagée (dans les lieux d'accueil du public de l'Andra, étude de la création d'un centre d'archivage historique avec délégation des Archives de France).

Les études scientifiques sur le vieillissement des matériaux ont consisté à tester le couple encre/papier permanent via des essais normés. Des études de la durabilité d'autres supports pour le plus long terme sont en cours de définition. Elles porteront sur des supports hors papier pour

écrire et graver, notamment des études de marqueurs de surface à installer sur la couverture des centres et la réalisation de disques en saphir comme démonstrateurs d'un support mémoriel dont la pérennité peut être à l'échelle du million d'années.

Au niveau des SHS, un groupement de laboratoires a été constitué pour étudier la perception des grandes échelles de temps. Pour les autres sujets liés aux SHS (archivistique, linguistique, muséographie, archéologie des techniques et des paysages...), il est prévu une approche en trois temps : une bibliographie succincte permettant de voir si des travaux existent déjà et sont suffisants, sinon, une bibliographie approfondie faite avec des universitaires afin de cadrer, le cas échéant, des recherches à insérer dans le programme scientifique. Les travaux porteront notamment sur la pérennité, la temporalité et les vestiges, et la dimension sociétale de la problématique.

La pérennité sera notamment étudiée au travers :

- des langues et de la symbolique pour déterminer pendant quelle durée raisonnable les langues actuelles ou mortes peuvent être connues, et quelles pourraient être les solutions de communication lorsque ces langues auront cessé d'être connues ;
- des conservations institutionnelles des écrits, sons, images, objets... par les organismes spécialisés français, mais aussi internationaux, pour analyser les mesures préventives qui sont prises pour limiter la dégradation avec le temps et favoriser l'appropriation et la transmission par les générations futures ;
- de l'archivage numérique de longue durée, notamment en organisant une veille sur ce domaine qui commence à se structurer et qui, à l'horizon de quelques décennies, pourrait ouvrir de nouveaux horizons sur le long terme.

La temporalité et les vestiges seront notamment étudiés au travers :

- de l'archéologie des techniques et des paysages, intégrant l'évolution d'origine anthropique et l'évolution géodynamique ainsi que les possibilités mémorielles induites par la rémanence des infrastructures créées par l'homme ;
- de la mémoire des stockages « historiques » non gérés par l'Andra, qui existent dans différents lieux en France (mines d'uranium, essais nucléaires...).

La dimension sociétale sera notamment étudiée au travers :

- de la perception des grandes échelles de temps (plurimillénaire et plus) par le public, dans le cadre d'un groupement de laboratoires en sciences humaines et sociales ;
- des évolutions sociétales possibles en science, technologie, humanité... déclinées en trois grandes orientations (régression, stagnation, progression) ;
- de l'intégration de la préservation de la mémoire des stockages aux programmes d'enseignement sur le nucléaire, le patrimoine et la mémoire ;
- de la transmission intergénérationnelle de la mémoire via les réseaux sociaux sur Internet pour informer au niveau mondial sur la mémoire des centres de stockage.

Le projet mémoire est jalonné par les échéances des projets de stockage Cigéo et FA-VL et des réexamens de sûreté des centres de stockage en exploitation. Il se prolongera pour accompagner le développement de ces stockages et de leurs phases de surveillance et de fermeture de façon à rester pleinement opérationnel en phase de post-surveillance.

## **Annexe 3 : Synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers**

### **Synthèse des réalisations à l'Étranger**

Cette synthèse présente les réalisations à l'étranger concernant la gestion des matières et déchets radioactifs (pays pris en compte : Allemagne, Belgique, Canada, Chine, Espagne, États-Unis, Finlande, Japon, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse). La notion de « réalisation » est interprétée de manière assez large, en incluant non seulement l'élaboration du cadre légal et la définition d'une classification des déchets radioactifs mais aussi le développement de programmes de gestion.

#### **Élaboration d'un cadre légal**

Des plans de gestion des déchets radioactifs (plus ou moins proches du PNGMDR) existent parfois à l'étranger, mais avec des objectifs variant beaucoup d'un pays à l'autre. En outre certains de ces plans ne sont pas rendus publics.

En Europe, la directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 relative à la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs impose l'établissement de programmes nationaux précisant comment les États membres mettent en œuvre leurs politiques nationales en matière de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs. Le contenu des programmes nationaux, fixé à l'article 12 de la directive, comprend notamment un inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs, les objectifs généraux à atteindre, les mécanismes de financement et une estimation des coûts du programme. Cette directive harmonise ainsi le cadre européen relatif à la gestion des déchets et du combustible usé et notamment l'établissement tous les trois ans des programmes nationaux dont la première version doit être transmise à la commission européenne en août 2015.

Aux États-Unis, après la décision en 2009 de suspendre le projet de stockage des déchets de haute activité et des combustibles usés envisagé à Yucca Mountain, une nouvelle démarche a été conduite par le DOE, confiant à la Blue Ribbon Commission (BRC) nouvellement instaurée le réexamen de la stratégie de gestion des combustibles usés et des déchets HA et la proposition de plans fondant les futures actions du gouvernement. En application des recommandations de la BRC, le DOE avait fait connaître, en janvier 2013, sa stratégie de gestion des combustibles usés. Il prévoyait un entreposage pilote exploitable à partir de 2021 suivi d'un entreposage d'au moins 20 000 tonnes (U métal) en 2025, situé soit sur le site du pilote soit sur le site candidat pour le stockage géologique. La mise en exploitation d'un futur stockage géologique des combustibles usés était annoncée en 2048. La mise en œuvre de ce programme nécessite néanmoins qu'un cadre institutionnel et légal soit établi, et que celui-ci fixe un calendrier et formule les exigences pour le choix de site. Ainsi, la loi fixera la mise en place d'une nouvelle organisation pour mettre en œuvre le programme.

Le Royaume-Uni, a publié en 2001 un Livre blanc intitulé « *Managing Radioactive Waste Safely - proposals for developing a policy for managing solide radioactive waste in the UK* », qui annonce un plan et une organisation pour la gestion des déchets. Paru en 2008, le Livre blanc « *Managing Radioactive Waste Safely: A Framework for Implementing Geological Disposal* » (MRWS) définit un cadre pour la

mise en œuvre d'un stockage géologique des déchets radioactifs de haute activité. Ce cadre prévoit notamment une collaboration active avec les collectivités éventuellement prêtes à accueillir l'installation. En 2014, un nouveau livre blanc intitulé « *Managing Radioactive Waste Safely - Implementing Geological Disposal* » a actualisé et remplacé le Livre blanc de 2008. Ce document établit un cadre général renforcé pour la mise en œuvre d'un stockage géologique et identifie les premières actions que le gouvernement du Royaume-Uni et le gestionnaire désigné (Radioactive Waste Management Ltd, une filiale à 100 % de la Nuclear Decommissioning Authority) doivent mener pour soutenir le processus de choix d'un site de stockage géologique. Il s'agit notamment de fournir aux collectivités d'accueil candidates des informations plus détaillées et plus claires concernant les questions clés.

En matière d'inventaire, les pratiques sont diverses, notamment en ce qui concerne son périmètre (inclusion d'une catégorie TFA en France, inclusion des déchets miniers aux États-Unis), son exhaustivité et son niveau de détail (moins détaillé en Allemagne qu'en France), sa diffusion au public (inventaire non-public en Espagne ; au Japon les producteurs sont libres de rendre leurs propres inventaires publics ou non), son rythme de mise à jour, et son traitement des déchets dits « engagés » étant donné le rythme de production actuel (jusqu'en 2080 pour l'Allemagne, mais *a contrario* pas de prise compte, pour l'instant, des déchets engagés aux États-Unis).

Malgré le travail de l'AIEA (qui met à disposition la base de données commune à l'ensemble des pays – NEWMDB, mais avec une approche relativement globale et de très grandes catégories de déchets), les comparaisons restent difficiles, notamment parce que les unités de référence (volumes, poids...) pour mesurer les quantités de déchets radioactifs varient d'un pays à l'autre. L'outil informatique de télé-collecte de ces données par les États membres signataires de la Convention Commune fait l'objet d'une évolution en vue de permettre une déclaration dans la classification nationale pour être automatiquement convertie vers la classification AIEA.

Comme en France avec l'Andra, un organisme public est responsable de la mise en œuvre de la gestion des matières et déchets radioactifs en Belgique (ONDRAF-NIRAS), et en Espagne (ENRESA). Un organisme public existe aux Pays-Bas, COVRA, mais il n'est pas réellement comparable, ni en terme de périmètre de déchets couverts, ni en termes d'activités. Toutefois, ce sont plus souvent les producteurs de déchets (notamment privés) qui sont directement responsables de la mise en œuvre pratique de la gestion des déchets. Ils créent alors une coopérative pour gérer certains déchets, en coopération avec les producteurs publics : Canada (NWMO-SGDN), Finlande (Posiva Oy, seulement pour les combustibles usés), Suède (SKB), Suisse (CEDRA-NAGRA, qui ne gère pas l'entreposage). Il n'y a parfois pas d'organisme centralisé, notamment au Japon, où à chaque type de déchet correspondent grossièrement une filière de gestion et un organisme. À noter que ces organismes sont loin d'être systématiquement « propriétaires » des déchets qu'ils ont à gérer : au Canada, le producteur reste responsable même après la fermeture du centre de stockage ; aux États-Unis l'État est responsable des déchets civils à partir de la phase de transport (suivie des phases de stockage après enfouissement, et de stockage après fermeture du site).

La liste des organismes en charge des déchets radioactifs est représentée dans le tableau ci-après :

Pays	Organisme		Statut	Date de création	Remarques
Allemagne	BFS	Bundesamt für Strahlenschutz	gouvernemental (BMU)	1989	
Belgique	ONDRAF/NIRAS	Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies	public	1980	
Canada	NWMO	Nuclear Waste Management Organization	privé	2002	Stockage géologique des CU*
Chine	EEE/CNNC	Everclean Environmental Engineering Corp./China National Nuclear Corporation	public	1995	EEE stockage déchets FMA
Corée du Sud	KORAD	Korea Radioactive Waste Agency	public	2013	Dans la continuité de KRMC créée en 2012
Espagne	ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.	public	1984	
États-Unis	DOE Nuclear Energy	Department of Energy	gouvernemental	1982 (pour les CU)	Stockage des CU*
Finlande	POSIVA	Posiva Oy	privé	1995	Stockage géologique des CU*
France	ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs	public	1991	
Japon	NUMO	Nuclear Waste Management Organization of Japan	public	2000	Stockage définitif déchets HA
Pays-Bas	COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval	public (depuis 2002)	1982	
Royaume-Uni	NDA	Nuclear Decommissioning Authority	public	2005	
Suède	SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB	privé	années 1970	
Suisse	NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle	privé/public	1972	

*Organisme en charge des déchets radioactifs*

*\*CU : combustibles usés*

Concernant le financement de la gestion des déchets radioactifs, le principe pollueur-payeur semble universellement appliqué pour la gestion des installations de déchets radioactifs, mais pas pour les recherches sur la gestion des déchets.

À noter que l'ensemble des pays susmentionnés (à l'exception de la Chine qui en est au stade de l'adhésion) sont membres de la Convention commune de l'AIEA sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, entrée en vigueur le 18 juin 2001. Ces pays se réunissent à Vienne tous les trois ans sous l'égide de l'AIEA, pour présenter leurs rapports nationaux décrivant la mise en œuvre de leurs obligations et développements. La dernière réunion de ce type a eu lieu en mai 2015.

## **Classification des déchets**

### **Les différents types de classifications**

Deux grandes approches existent pour définir la classification des déchets radioactifs : une approche par filière de gestion des déchets, et une approche par filière de production des déchets (cette dernière approche étant en partie héritée de la construction historique de la radioprotection, généralement bâtie par filière de production).

Au sein de la première approche (par filière de gestion), la classification à l'étranger combine souvent, comme en France, les paramètres d'activité et de durée de vie des radioéléments constituant les déchets (par exemple Belgique, Espagne).

Toutefois, la classification des déchets repose parfois uniquement sur l'activité. Par exemple, au Canada, il n'y a que deux grandes catégories (FMA-VC et HA, dont les combustibles usés), si l'on excepte la gestion spécifique des déchets issus des mines. Aux Pays-Bas, la classification comporte un plus grand nombre de catégories, mais aucune distinction n'est faite entre les déchets à vie courte et ceux à vie longue ; il n'y a en conséquence pas de projet de stockage en surface.

D'autres classifications (conduisant à des catégories qualitativement comparables mais avec des seuils quantitativement distincts) existent parfois : l'Allemagne a par exemple fondé sa classification essentiellement sur le caractère exothermique des déchets.

Dans les pays ayant adopté la seconde approche (par filière de production), la classification est plus complexe, avec des filières spécifiques à certains types de déchets, et combinant activité et durée de vie : États-Unis, Japon, et Suède (où les deux types d'approche coexistent en réalité pour ce dernier pays). Enfin, une catégorie est parfois ajoutée pour les déchets en provenance des hôpitaux, universités, etc., par exemple en Finlande.

En outre, certaines catégories correspondent à des spécificités nationales : Belgique (traitement de 50 % des sources de radium utilisées dans le monde), Canada (importantes mines d'uranium).

Enfin, l'absence de seuil de libération en France (pour les déchets ne contenant, ou susceptibles de ne contenir, que de très faibles quantités d'éléments radioactifs) est une spécificité. De tels seuils existent dans les autres pays étudiés, mais varient considérablement

tant au niveau du seuil lui-même que du périmètre des déchets considérés ; la catégorie des déchets TFA existe donc rarement en tant que telle, et ne correspond alors pas aux mêmes déchets qu'en France.

### **Classification des déchets adoptée par l'AIEA**

L'AIEA a publié fin 2009 une révision profonde de la classification des déchets radioactifs qui datait de 1994 (AIEA, 2009). Elle est utilisée par les pays membres pour une présentation internationale de leur gestion des déchets radioactifs, et de leurs inventaires comme par exemple dans la base NEWMDB de l'AIEA. L'Union européenne s'y réfère dans la directive relative à la gestion responsable et sûre des déchets et des combustibles usés du 19 juillet 2011.

Cette révision a été jugée nécessaire car le système de classification élaboré précédemment par l'AIEA n'était pas exhaustif : il ne couvrait pas tous les types de déchets radioactifs et ne fournissait pas non plus un lien direct avec les options de stockage et de gestion pour tous les types de déchets radioactifs. Ces défauts de l'ancienne classification se sont révélés autant de limites à son utilisation et son application.

Le nouveau système de classification de 2009 introduit une nouvelle catégorie de déchets VLLW (Very Low Level Waste), correspondant aux TFA, et utilise les classes LLW (Low Level Waste), ILW (Intermédiaire Level Waste) et HLW (High Level Waste). Ces classes prennent en compte à la fois le niveau de radioactivité mais aussi la période des radioéléments contenus dans les déchets.

Les déchets y sont classés selon le degré de confinement et d'isolement nécessaire pour garantir la sûreté à long terme, compte tenu de leur nature et du risque qu'ils représentent. Cette classification des déchets permet une approche par étape vers l'obtention du niveau de sûreté requis, puisque qu'elle s'établit autant sur les pratiques que sur les caractéristiques des sources, des niveaux d'exposition qu'elles entraînent et de leurs occurrences.

### **Filières de gestion existantes ou en cours de réalisation**

#### **Choix du type de cycle du combustible**

Le choix de traiter les combustibles usés a été fait dans différents pays dès les années 1950 à des fins militaires et à la fin des années 1970 pour des usages civils. Aujourd'hui un certain nombre de pays disposent d'installations :

- de traitement complet des combustibles comme en France, au Royaume Uni et au Japon (dont le démarrage industriel n'a cependant pas encore été prononcé et pourrait être remis définitivement en question) ;
- de traitement de produits de fission aux États-Unis dans le cadre de l'assainissement de sites anciens tel que celui d'Hanford, ou de séparation en Russie pour la récupération des matières valorisables extraites des combustibles usés ;
- de recherche comme en Chine qui a également opté pour un cycle du combustible fermé, mais qui développe des projets d'installations d'essais, notamment avec l'aide de la France, et en Inde qui a réalisé un pilote pour la vitrification des produits de fission.

Plusieurs autres pays qui ne disposent pas d'installations dédiées sur leur propre territoire ont fait, ou font encore, traiter tout ou partie de leurs combustibles usés dans des usines à l'étranger,

principalement au Royaume-Uni et en France, notamment l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suisse et très partiellement l'Espagne, mais aussi en Russie pour une partie des pays de l'est de l'Europe. Plusieurs de ces pays ont toutefois choisi de mettre fin au traitement à l'étranger à plus ou moins long terme : l'Allemagne et la Suisse s'y sont notamment engagées par voie législative et la Belgique a pour le moment suspendu son contrat de traitement des déchets avec l'usine de la Hague.

La Corée du sud n'a pour le moment pas pris de décision définitive concernant le traitement des combustibles de la filière eau légère, qui pour le moment sont entreposés sur les sites de production.

L'autre option en vigueur, consiste à gérer directement les combustibles usés sans phase de séparation ni de traitement. Elle est retenue au Canada, en Finlande et en Suède. C'est également le cas en Espagne et aux États-Unis depuis l'instauration des dispositions de non-prolifération mises en œuvre depuis les années 1980 (présidence Carter).

### **Activités de démantèlement**

Les pays qui ont exploité pendant un demi-siècle des installations nucléaires de production d'électricité, de recherche ou du cycle du combustible ont entamé d'importants programmes de démantèlement des installations les plus anciennes et d'assainissement des sites. Les États-Unis ont entamé depuis plusieurs décennies un programme qui porte sur 108 sites d'une surface de 800 000 ha. Le Royaume-Uni a créé en 2005 la *Nuclear Decommissioning Authority* pour démanteler à terme l'ensemble des installations nucléaires existantes. Les démantèlements génèrent des volumes de déchets importants, principalement TFA mais aussi FMA. Leur gestion nécessite une planification technique rigoureuse et des financements disponibles.

### **Gestion des déchets FMA et FAVL**

Dans plusieurs pays, des centres de stockage en surface ou en subsurface pour des déchets FMA sont déjà en exploitation. Ils ont été créés pour accompagner la production d'énergie d'origine nucléaire : en Chine les stockages de Beilong et Diwopu, en Espagne celui d'El Cabril, aux États-Unis les centres de Barnwell, Richland, Clive et Andrews, en Finlande ceux d'Olkiluoto et de Loviisa creusé dans le granite à une profondeur de 60-100 m, au Japon celui de Rokkasho-Mura, au Royaume-Uni celui de Drigg ouvert en 1959 (environ 1 000 000 m<sup>3</sup> y sont disposés en tranchées et sur plateformes), et en Suède le centre SFR de Forsmark situé à 50 mètres sous la mer Baltique.

D'autres sont en construction ou à l'étude sur des emplacements déterminés, et les projets sont de natures diverses, en termes de type de site choisi, de conception du centre de stockage, ainsi que de profondeur ; ces facteurs conditionnent au final le type de déchets pouvant être stockés (notamment en ce qui concerne la durée de vie). Ainsi, en Belgique, le centre de stockage de Dessel devant être mis en exploitation en 2022 n'acceptera que des déchets FMA à vie courte. Parmi les autres projets en cours de réalisation ou à venir, les stockages géologiques suivants sont à noter : celui prévu vers 2020 au Canada à Kincardine par 680 m de profondeur près du réacteur de Bruce (Ontario) et celui à partir de 2019 en Allemagne pour les déchets FMA dans l'ancienne mine de fer de Konrad à Salzgitter aux alentours de 1000 m de profondeur. Au Royaume-Uni, la

construction de 2 ouvrages de stockage sur les 4 prévus à terme a été achevée en mai 2015 sur le site de Dounreay.

Cependant plusieurs pays n'ont pas encore fait aboutir ou défini leur projet de stockage de déchets FMA, comme la Suisse et les Pays-Bas mais aussi l'Italie qui a entrepris de stocker les déchets de ses installations arrêtées. D'autres ferment des sites anciens et reconsidèrent de nouveaux emplacements comme en Allemagne pour les sites d'Asse et de Morsleben.

Concernant plus spécifiquement les déchets FA-VL, la gestion actuelle à l'étranger consiste essentiellement à les entreposer sur les sites de production. Les filières de gestion à long terme restent donc à définir. Les volumes sont en particulier importants en Belgique où les déchets radifères, actuellement entreposés sur le site d'Olen, proviennent du traitement de la moitié des sources de radium utilisées dans le monde. En Espagne, les déchets de graphite provenant de la filière de réacteurs graphite-gaz sont actuellement en entreposage sur le site de démantèlement d'un réacteur. Il n'existe pas non plus de plan formel en Suisse, au Royaume-Uni, au Japon, aux États-Unis, en Russie et en Ukraine qui possèdent tous des déchets de type graphite.

### **Gestion des déchets HA**

La plupart des pays s'orientent vers le stockage en couche géologique profonde, mais ces pays sont à des stades très différents du processus de sélection du site et de construction du centre.

La Finlande et la Suède ont déjà sélectionné leurs (premiers) sites, respectivement à Olkiluoto et à Osthrammar (commune du site électronucléaire de Forsmark). La Suède aborde la phase de demande d'autorisation de construction, tandis que la Finlande a reçu cette autorisation en novembre 2015. La mise en service de ces centres est prévue entre 2020 et 2025.

En Finlande, le creusement du laboratoire souterrain d'Onkalo pour la caractérisation de milieu granitique en vue de la réalisation du stockage, avait atteint, à l'été 2010, la profondeur de référence de 420 m. Plusieurs essais *in situ* sont en cours de réalisation dans Onkalo afin d'examiner différentes caractéristiques locales du massif. Ils comprennent des études des propriétés hydrologiques, de rétention, de comportement mécanique des roches et des transformations géochimiques. Les essais d'un pilote de fabrication des matériaux de confinement et de mise en place à Onkalo ont démarré.

En Suède, le site a été sélectionné en juin 2009, à l'issue de plusieurs années d'études et investigations détaillées, et d'un important programme d'expérimentation au laboratoire d'Aspö (proche du site non retenu d'Oskarshamn). La demande d'autorisation pour la construction d'un stockage géologique de combustibles usés a été déposée en mars 2011. S'il est autorisé, le stockage de combustibles sera construit à environ 500 m de profondeur, dans une roche granitique. Sa construction devrait se poursuivre jusqu'au commencement des années 2020.

Aux États-Unis, après le choix du site de Yucca Mountain en 2002, l'US-DOE (OCRWM) a déposé une demande d'autorisation de construction du stockage en juin 2008. Le dossier ayant été jugé conforme, son instruction a été acceptée par l'autorité de sûreté (NRC). Toutefois, l'administration Obama a décidé que « Yucca Mountain ne constituait pas une option réalisable pour le stockage à long terme des combustibles usés ». Depuis 2009, la phase de préparation du

stockage n'est plus financée. L'instruction de la demande d'autorisation de création, suspendue pendant quelques temps, s'est finalement terminée en janvier 2015 : le dossier de demande devra faire l'objet de certains compléments (notamment sur l'étude d'impact) et la construction de l'installation n'est pas autorisée en l'état. Des crédits supplémentaires seront par ailleurs nécessaires pour que la NRC poursuive plus avant ses travaux d'instruction. Des modifications dans l'inventaire ou la politique de gestion des combustibles usés et des déchets depuis le dépôt de la demande d'autorisation en 2008 pourraient en outre affecter les futures décisions sur Yucca Mountain.

La commission « Blue Ribbon », créée en janvier 2010 pour examiner toutes les options stratégiques possibles concernant la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs de haute activité, a remis son rapport définitif en janvier 2012. Elle réaffirme que la solution de référence doit être le stockage géologique, recommande notamment la mise en place d'un organisme en charge du stockage des déchets radioactifs et préconise un entreposage des CU et une recherche de sites fondée sur l'acceptation. Le rapport prend en compte les avis et remarques du public recueillies lors de réunions en octobre 2011. Sur la base des recommandations de la Blue Ribbon Commission, le DOE avait fait connaître, en janvier 2013, sa stratégie de gestion des combustibles usés. Il prévoyait un entreposage pilote exploitable à partir de 2021 suivi d'un entreposage d'au moins 20 000 tonnes (U métal) en 2025, situé soit sur le site du pilote soit sur le site candidat pour le stockage géologique. Dans ce cadre, deux projets de dépôt de demande d'autorisation de construction auprès de la NRC sont prévus en 2016 :

- la société Waste Control Specialists (en association avec Areva) soumettra en avril 2016 une demande d'autorisation de construction d'une installation d'entreposage de surface à sec et centralisée dans le Texas (comté de Andrews) près de la frontière mexicaine, avec pour objectif la finalisation de sa construction d'ici décembre à 2020.
- La société Holtec soumettra en juin 2016 une demande d'autorisation de construction d'une installation d'entreposage de surface à sec et centralisée dans le Nouveau Mexique, espérant obtenir un feu vert en janvier 2019 pour démarrer une exploitation début 2020.

La mise en exploitation d'un futur stockage géologique des combustibles usés était annoncée en 2048.

Sans que le site n'ait encore été choisi, des échéances à plus ou moins long terme ont été fixées dans certains pays. Le Japon a lancé un processus de sélection d'un site de stockage pour les déchets vitrifiés dont la mise en service devait intervenir vers 2035 ; le processus est néanmoins bloqué à sa phase 1 depuis juillet 2007 faute de candidatures ; une nouvelle campagne d'information a été engagée en 2009, puis une série de réunions publiques en 2012 ayant conduit à l'établissement d'un nouveau processus d'appel à candidatures et d'accompagnement par les autorités publiques. L'Allemagne et la Chine ont fixé des objectifs de début d'exploitation de centre de stockage géologique, au-delà de 2040. Après l'expiration en 2010 du moratoire concernant le stockage de Gorleben, le travail d'exploration souterraine du dôme de sel a été repris puis interrompu en juillet 2013 par le *Repository Site Selection Act*. Cette loi, adoptée par le Bundestag, impose la recherche et la sélection d'un site de stockage, dans tout type de milieu (argile, salin et cristallin) pour les déchets de haute activité assurant la « meilleure sûreté possible » pour une période de 1 million d'années. Le processus de sélection de site devrait se conclure en 2031. De ce fait, la mine de Gorleben est maintenue à un niveau d'activité opérationnelle minimale.

D'autres pays ont choisi de se concentrer sur les recherches sur le stockage géologique, et de repousser la sélection d'un site en particulier. Aucune échéance n'est par exemple fixée en Belgique ou au Canada (dans ces deux pays un processus progressif associant les parties prenantes a été mis en place). Au Royaume-Uni, le gouvernement a publié en 2014 le Livre blanc « *Implementing Geological Disposal* » définissant le programme de réalisation d'un stockage géologique afin de permettre l'exploitation de ce stockage dès 2029 (au lieu de 2040 comme initialement prévu). De même, les Pays-Bas ont construit un entreposage pour une longue durée (de l'ordre du siècle), le stockage géologique devant être étudié d'ici là.

L'Espagne a choisi, le 30 décembre 2011, le site de Villar de Cañas pour son futur centre d'entreposage de combustibles usés et de déchets à haute activité. Il est situé dans la province de Cuenca à environ 130 km au Sud Est de Madrid. Le Parlement avait approuvé le développement d'un programme d'entreposage en 2006 et le gouvernement avait ouvert la recherche de site à l'ensemble des municipalités.

Les électriciens entreposent aujourd'hui leurs combustibles usés sur les sites des centrales, ainsi que dans une installation d'entreposage à sec, sur le site de la centrale nucléaire du Trillo.

Cet entreposage à sec est conçu pour une durée de soixante ans. Il aura une capacité de 13 000 m<sup>3</sup> de déchets à haute activité, correspondant à 6 700 tU de combustibles usés (20 000 assemblages) et 2 600 m<sup>3</sup> de déchets de moyenne activité à vie longue et 12 m<sup>3</sup> de déchets vitrifiés (combustibles de la centrale de Vandellos). Le coût annoncé est de 700 millions d'euros. Il s'intégrera dans un parc technologique qui devrait permettre de créer de l'ordre de 300 emplois. Le projet de construction a démarré en avril 2013 et devrait durer environ 5 ans. La conception a été confiée à Areva, puis l'ingénierie à un groupement dirigé par Westinghouse.

La demande d'autorisation de création et de construction a été déposée en janvier 2014. L'autorisation de création sur le site de Villar de Cañas a été délivrée en juillet 2015. Toutefois un nouveau gouvernement régional a été élu en 2015. Il a étendu la surface de la zone de protection environnementale, bloquant ainsi le développement du projet d'entreposage, suspendu fin 2015 à de nouvelles décisions d'ordre politique. L'exploitation est prévue en 2018.

## **Les recherches en soutien au stockage géologique**

Dans la plupart des pays la solution de référence, pour la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, est le stockage géologique profond. Le Conseil de l'Union européenne l'a réaffirmé dans la directive de 2011 : « *le stockage en couche géologique profonde constitue, actuellement, la solution la plus sûre et la plus durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité et du combustible usé considéré comme déchet* ». Les roches hôtes choisies varient en fonction de leurs qualités de confinement et des possibilités géologiques des pays concernés.

Pourtant aucun pays n'a encore délivré d'autorisation formelle de stockage de ces déchets, y compris des combustibles usés hormis les États-Unis pour les déchets d'origine militaire. La plupart des pays ont connu des retards importants dans le développement de leur programme de stockage, dus à des tentatives de recherche de site sur des bases principalement scientifiques et techniques, sans concertation locale suffisante. Ceux qui ont su tirer parti de leur échec et reprendre le processus à son stade initial, avec des débats et concertations préalables, sont à ce jour les plus avancés.

Aujourd'hui la faisabilité scientifique et technique peut être considérée dans certains cas comme acquise et les quelques pays les plus avancés en sont au stade de la qualification finale du site et de l'optimisation des concepts et de l'ingénierie.

### **L'organisation de la recherche**

En ce qui concerne les programmes de recherche pour les déchets radioactifs sans filière industrielle existante, le cas le plus général consiste à en confier le pilotage à l'organisme chargé de la gestion, qu'il soit privé ou public : SKB en Suède, POSIVA en Finlande, ENRESA en Espagne ou ONDRAF en Belgique.

Cette configuration implique néanmoins un support technique spécifique, similaire à celui que l'Andra a reçu d'organismes de recherche comme le CEA : POSIVA avec VTT, NAGRA avec PSI, ENRESA avec CIEMAT, ONDRAF avec CEN-SCK.

Néanmoins, pour des raisons historiques, la R&D peut être parfois pilotée par un autre organisme, qui associe le futur opérateur de la gestion des déchets et d'autres organismes de recherches.

Un cas typique est celui de l'Allemagne avec une forte implication de GRS (organisme de recherche dépendant du gestionnaire des déchets BfS) et du BGR institut public de recherche allemand spécialisé en sciences de la terre et en ressources naturelles pour le dossier du stockage géologique des déchets exothermiques. DBE (Compagnie allemande pour la construction et l'exploitation d'installations de stockage des déchets) a un contrat exclusif avec BfS pour la construction, l'exploitation et la surveillance des sites de stockage.

Un autre cas spécifique est celui du Japon, néanmoins un peu plus simplifié depuis la fusion des deux organismes de recherche publics JNC et JAERI en JAEA. À JAEA, s'ajoute le CRIEPI, financé par les électriciens et RWMC, financé par le METI.

### **Le laboratoire souterrain, préalable ou non au projet de stockage**

Les diverses configurations de l'organisation de la gestion des déchets dans les différents pays considérés se traduisent, pour la R&D du stockage géologique (CU ou déchets HA et MA-VL), par une grande variété de statuts du laboratoire de recherche souterrain que ce soit en termes de propriété ou d'objectif (méthodologie<sup>225</sup> ou qualification du site et de la roche-hôte).

En Suède, le Hard Rock Laboratory d'Äspö est propriété de SKB (méthodologie et qualification du granite). Il y conduit depuis 1995 des recherches sur son concept KBS3 (à alvéoles verticales et conteneur de cuivre) dans le cadre de programmes R&D tri-annuels approuvés par le gouvernement. Depuis 2000, des démonstrateurs de concept sont opérationnels. Ils visent à acquérir la maîtrise des méthodes de construction et d'exploitation d'un stockage géologique profond dont l'autorisation a été demandée en 2011 pour le site de Forsmark à Östhammar.

---

<sup>225</sup> C'est-à-dire un laboratoire dont l'objectif est de mettre au point les techniques de caractérisation « in situ », mais qui par son statut et son environnement géologique n'est pas situé dans un secteur possible d'implantation géologique.

En Finlande, POSIVA creuse dans un granite à Onkalo un laboratoire de qualification installé au lieu même du futur centre de stockage. Le creusement a atteint sa profondeur nominale de 455 m en février 2012. Les recherches portent entre autres sur les levées géologiques, les forages instrumentés, les niches de caractérisation et les études mécaniques du massif cristallin.

En Belgique, le laboratoire de recherche Hades situé à 230 m de profondeur est à but méthodologique et sert à la qualification de l'argile de Boom. Il est désormais géré par un GIE de l'ONDRAF et du CEN/SCK, homologué belge du CEA. Ce laboratoire démontre la possibilité de construire un stockage géologique constitué d'un réseau de galeries avec des perturbations au sein de la formation argileuse hôte limitées.

La Suisse avec deux laboratoires aux statuts très différents :

- GTS (GRIMSEL Test Site), laboratoire méthodologique en milieu granitique mis à disposition de NAGRA à partir de galeries appartenant aux électriciens ; les recherches actuelles concernent l'instrumentation et la surveillance des ouvrages. Cependant le démonstrateur du concept de stockage espagnol de combustible usé en galerie, FEBEX, mis en place par ENRESA en 1997, est toujours actif.
- Mont Terri, consortium international initié en 1996 par la NAGRA et l'Andra et désormais dirigé par une autorité fédérale suisse. Le laboratoire présente des objectifs méthodologiques. Il permet à la Nagra de qualifier l'argile à Opalinus (roche-hôte potentielle).

Au Mont Terri une centaine d'expériences d'inégale importance ont été réalisées depuis le début du programme de recherche en 1996 et plus d'une soixantaine sont en cours en 2015. Dans un matériau argileux préalablement peu étudié, des méthodes de caractérisation de la roche ont été établies. Ainsi, en lien avec la sûreté, la diffusion des radionucléides dans l'argile a été mesurée, la collecte des eaux contenues dans la roche a été réalisée. La forte participation de l'Andra aux projets et expérimentations au Mont Terri a permis la préparation des expérimentations dans le laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Au Japon, JAEA construit deux laboratoires souterrains avec des objectifs purement méthodologiques. Au laboratoire de Mizunami (roche cristalline), la profondeur de 500 m, sur les 1 000 m prévus, a été atteinte en 2015. Les études concernant l'hydrologie et la mécanique des roches sont en cours. Au laboratoire de Horonobe (roche sédimentaire), les tests hydrologiques et les mesures hydrochimiques se poursuivent. Une profondeur de 350 m sur les 500 m prévus était atteinte en 2015.

En Allemagne, après les expérimentations qui ont eu lieu dans les années 1990 dans l'ancienne mine de sel d'Asse (dont les premiers travaux dataient déjà du début des années soixante-dix). Le dôme de sel de Gorleben prévu pour stocker les déchets radioactifs de haute activité a fait l'objet d'importants travaux de reconnaissance jusqu'en 2013. Dans le cadre de la loi de 2013 imposant une nouvelle recherche de site (dans tout type de formation géologique), les travaux de reconnaissance dans le site de Gorleben ont été depuis amenés à un niveau minimal.

Aux États-Unis après une vingtaine d'années de recherches et de caractérisations réalisées sur le site de Yucca Mountain dans l'État du Nevada, le DOE avait déposé en juin 2008 une demande d'autorisation pour le stockage des combustibles usés en roche volcanique à Yucca Mountain. Comme indiqué plus haut dans ce chapitre, cette démarche a fait l'objet d'une

remise en cause politique par l'État fédéral qui a entrepris de redéfinir la stratégie de stockage des déchets radioactifs et des combustibles usés.

### **Les recherches coordonnées en Europe**

Les activités de recherche et de développement technologique développées dans le Programme Cadre des Recherches et Développement (PCRD) par l'UE sont axées sur :

- la gestion et la sûreté du stockage géologique des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL) ;
- la dimension européenne de leur gestion et de leur stockage ;
- le développement de procédés permettant la réduction de leur quantité et nocivité (ex : séparation-transmutation, etc.).

### Les projets en cours

Horizon 2020, le nouveau programme cadre européen pour la recherche et l'innovation a démarré le 1<sup>er</sup> janvier 2014 pour 7 ans. Il finance des projets résolument interdisciplinaires autour de trois priorités :

- l'excellence scientifique,
- la primauté industrielle,
- les défis sociétaux.

Horizon 2020 est doté de 79 milliards d'euros (en euros courants, Euratom compris) qui viennent soutenir les travaux des scientifiques et des industriels de l'Union européenne pour la période 2014-2020.

Le programme Euratom, fait partie intégrante d'Horizon 2020 et dispose d'un règlement commun avec celui-ci qui couvre :

- le programme de recherche et de développement dans le domaine de la fusion,
- les activités de recherche dans le domaine de la fission et de la radioprotection,
- les activités nucléaires du Centre Commun de Recherche (CCR).

Les différents projets et recherches en cours dans le cadre d'Euratom dont la portée concerne les développements en matière de gestion des déchets radioactifs sont les suivants :

- MODERN 2020 : Développement et mise en œuvre des techniques de contrôle et de surveillance des stockages – (Coordinateur Andra) ;
- IGDTP-2 : Plateforme Technologique visant la coordination des moyens et actions dans le domaine des projets stockages géologiques (Andra) ;
- JOPRAD : Projet européen de programme de recherche commun autour du stockage des déchets radioactifs ;
- DOPAS : Démonstration à l'échelle 1 de la réalisation et de la performance d'ouvrages de scellement ;
- MIND : Influence des processus microbiens sur le stockage géologique des déchets ;
- Cebama : Cement-based materials for geological disposal;
- FIRST Nuclides : Acquisition de données sur l'IRF (fraction labile du terme source) des combustibles UOx à haut taux de combustion, notamment pour réduire les incertitudes associées à certains radionucléides d'intérêt ( $^{123}\text{I}$ ,  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) – (KIT) ;
- LUCOEX : Expérimentations dans 3 laboratoires souterrains visant à tester et confirmer les choix conceptuels retenus (SKB) ;

- SKIN : Processus à cinétique très lente dans les interactions fluides – roche (EM Nantes)

### La plate-forme IGD-TP – Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform

Créée en 2009, la plateforme technologique IGD-TP a pour ambition de promouvoir les actions de recherche et développement concourant à la mise en exploitation des premiers stockages géologiques pour les combustibles usés, les déchets à haute activité et autres déchets radioactifs à vie longue.

Cette plateforme, à laquelle participent 23 pays de l'Union européenne ainsi que la Suisse, compte fin 2014, 120 participants à ses forums d'échange. Ils proviennent principalement d'organisations européennes, mais aussi du Japon et d'autres pays. Ces organisations sont des entités en charge de la gestion des déchets, des institutions gouvernementales, des entreprises, des universités et des centres de recherche.

La mission d'IGD-TP consiste à renforcer la confiance dans la sûreté et la mise en œuvre de solutions de stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. L'IGD-TP permet non seulement de développer des programmes techniques d'intérêt pour les pays les plus avancés mais elle permet aux États de bénéficier, dès les premières étapes de leur développement, des progrès les plus récents. En effet, la plupart des pays nucléarisés développent des programmes de gestion de déchets radioactifs, mais leur avancement, les délais de leur mise en œuvre et les enjeux diffèrent.

L'engagement des membres de la plateforme est le suivant :

- renforcer la confiance des citoyens et décideurs européens dans la sûreté des solutions de stockage en formations géologiques,
- encourager l'établissement de programmes de gestion des déchets qui intègrent le stockage géologique comme option acceptée pour la sûreté de gestion à long terme des déchets à haute activité,
- faciliter l'accès à l'expertise et la technologie et maintenir les compétences dans le domaine du stockage géologique pour le bénéfice des États membres.

En 2011, l'IGD-TP a produit un programme stratégique de recherche<sup>226</sup> et un plan de déploiement 2011-2016<sup>227</sup>. Ces deux documents sont pour la communauté européenne un moyen de fédérer les meilleures compétences autour des grands objectifs de la recherche pour les quinze prochaines années et organiser la coopération d'intérêt commune à l'échelle européenne.

En 2014, une version mise à jour du plan de déploiement a été publiée (*Master Deployment Plan 2014*<sup>228</sup>). La mise en œuvre de ces recherches a bénéficié d'un financement inscrit dans le 7<sup>ème</sup> programme-cadre de recherche et de développement technologique auquel a succédé aujourd'hui le programme « Horizon 2020 ».

---

<sup>226</sup> Ce document est disponible sur le site internet de l'Andra :

[https://www.andra.fr/download/site-principal/document/igtdp\\_strategic-research-agenda.pdf](https://www.andra.fr/download/site-principal/document/igtdp_strategic-research-agenda.pdf)

<sup>227</sup> Ce document est disponible sur le site internet de l'Andra :

[https://www.andra.fr/download/site-principal/document/igdtb\\_deployment\\_plan\\_2011-2016.pdf](https://www.andra.fr/download/site-principal/document/igdtb_deployment_plan_2011-2016.pdf)

<sup>228</sup> Ce document est disponible sur le site internet de l'Andra : [https://www.andra.fr/download/site-principal/document/igdtb\\_master-deployment-plan-2013.pdf](https://www.andra.fr/download/site-principal/document/igdtb_master-deployment-plan-2013.pdf)

Les programmes de recherche portent sur l'étude de sûreté, les déchets et leur comportement, les performances et faisabilité des composants du stockage, le développement, la construction et l'exploitation du stockage, la surveillance, la gouvernance et l'implication des parties prenantes.

En 2014, les activités de l'IGD-TP ont été couvertes par 8 projets techniques :

- Trois projets qui se sont terminés en 2014 :
  - o MoDeRn : *Monitoring developments for safe Repository operation and staged closure*,
  - o PEBS : *Long-term Performance of the Engineered Barrier System*,
  - o REDUPP : *Reducing the uncertainties in the spent nuclear fuel dissolution rates used when assessing the long-term safety of geological disposal concepts of nuclear waste*.
- Cinq projets se poursuivant au-delà de 2014 :
  - o BELBaR : *Bentonite Erosion, effects on the Long term performance of the engineered Barrier and Radionuclide transport*,
  - o CAST : *Carbon 14 Source Term*,
  - o DOPAS : *Demonstration Of Plugs And Seals*,
  - o First-Nuclides : *Fast / Instant Release of Safety Relevant Radionuclides from Spent Nuclear Fuel*,
  - o LUCOEX : *Large Underground COnccept EXperiments*.

Il s'y ajoute une « action support », le secrétariat de l'IGD-TP : Projet SecIGD2.

#### Appel à projets d'Horizon 2020 « programme de travail 2014-2015 » (H2020 WP 2014-2015)

L'IGD-TP<sup>229</sup> est impliquée dans quatre propositions de projets acceptées dans le cadre de l'appel à projets Euratom H2020 WP 2014-2015 et qui démarreront en 2015 :

- un projet sur les bétons, projet Cebama - *Cement-based materials, properties, evolution, barrier functions*,
- un projet sur l'influence des microorganismes dans les processus de stockage, projet MIND - *Influence of microbial processes on geological disposal of radioactive waste*,
- un projet sur le monitoring, projet Modern2020 - *Development & Demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal*, suite du projet Modern,
- un projet de coordination (Coordination and Support Action) : le projet JOPRAD - *Towards a Joint Programming on Geological Disposal* - qui vise à évaluer les modalités d'une coordination des actions de recherche au niveau européen (Un « *Joint Programming* ») dans le domaine du stockage géologique.

L'Andra assure le rôle de Coordinateur pour les projets Modern2020 et JOPRAD.

#### SITEX – Sustainable network of Independent Technical EXpertise for radioactive waste Disposal

Le projet SITEX (*Sustainable network of Independent Technical EXpertise for radioactive waste Disposal*) s'est tenu du 1<sup>er</sup> janvier 2012 au 31 décembre 2013 dans le cadre du septième programme-cadre de la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) pour les activités de recherche et de formation en matière nucléaire. Il avait pour objectif d'identifier les conditions et les moyens nécessaires à la création d'un réseau international d'expertise publique sur les questions de sûreté et de protection radiologique posées par le stockage géologique des déchets radioactifs. Ces travaux ont permis d'identifier des thèmes prioritaires en termes de R&D, de développement ou d'harmonisation de guides techniques.

---

<sup>229</sup> Des éléments d'information complémentaires sont disponibles sur le site : <http://www.igdt.eu/>.

Une suite de ce projet a été lancée en juin 2015 pour une durée de 30 mois dans le cadre du programme de recherche de la Commission Européenne Horizon 2020, visant principalement à la mise en place d'une plate-forme d'échange des experts techniques indépendants dans le cadre des études sur les stockages géologiques.

## OCDE-AEN

La vocation de l'Agence pour l'Énergie Nucléaire (AEN) n'est pas de conduire des programmes de recherches mais plutôt de réunir les acteurs des différents pays pour traiter de sujets nécessitant un partage entre pays.

Le Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC) apporte aux pays membres son assistance pour la gestion des substances et déchets radioactifs, notamment en ce qui concerne la mise au point des stratégies garantissant une gestion sûre, durable et généralement acceptable de tous les types de déchets radioactifs, en particulier des déchets à vie longue et du combustible usé, et le démantèlement d'installations nucléaires en fin de vie.

Les tâches principales du RWMC sont de :

- de constituer un forum pour l'échange d'informations et d'expériences sur les politiques de gestion des déchets et des pratiques dans les pays membres de l'AEN ;
- de développer une compréhension commune des questions fondamentales en jeu, et de promouvoir l'adoption de philosophies communes basées sur les différentes stratégies possibles de gestion des déchets et leurs alternatives ;
- de suivre l'évolution de l'état de l'art dans le domaine de la gestion des matières et déchets radioactifs aux niveaux technique et scientifique ;
- de contribuer à la diffusion de l'information dans ce domaine à travers l'organisation de réunions de spécialistes et la publication de rapports techniques ainsi que d'avis consensuels résumant les résultats des activités conjointes au profit de la communauté scientifique internationale, des autorités compétentes au niveau national et d'autres publics intéressés par le domaine ;
- d'offrir, un cadre pour la conduite, sur demande, d'un examen international par les pairs des activités d'un pays dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs, tels que les programmes de R&D, les évaluations de sûreté, les réglementations spécifiques...

## Incidents du Waste Isolation Pilot Plant – WIPP aux Etats-unis

Le premier stockage de déchets radioactifs à vie longue en formation géologique (de type de dôme de sel), le WIPP, a été mis en service en 1999 au Nouveau-Mexique. Son exploitation a cependant été interrompue en février 2014 à la suite de 2 événements ayant eu lieu à 10 jours d'intervalle :

- le 5 février : un feu souterrain sur un moteur d'un engin de transport, a conduit à l'évacuation de nombreux opérateurs en raison d'intoxication par inhalation de fumées.

*Source : US DoE*





- le 14 février : une contamination radioactive détectée en surface du site à proximité de l'extraction d'air à des niveaux ne présentant pas de risque pour le public et l'environnement. Cette contamination résultait d'une réaction exothermique due à une incompatibilité chimique entre un matériau absorbant (de type) organique introduit dans un fût et son contenu, un sel de nitrate radioactif.

*Source : US DoE*

Les opérations de stockage de déchets transuraniens, d'origine militaire, devraient reprendre progressivement à partir de 2016 après deux années d'arrêt. Suivant une démarche par étape, la remise en service est décrite dans un programme, « *WIPP recovery plan* », publié fin septembre 2014 par le DOE. D'une capacité d'environ 175 000 m<sup>3</sup>, le WIPP stocke les déchets radioactifs dans des chambres creusées dans une formation de sel située à environ 650 mètres de profondeur.

Ces déchets sont produits par les activités de la défense américaine résultant de l'exploitation, le démantèlement et l'assainissement d'installations ayant utilisé ou produit des éléments transuraniens, c'est-à-dire de période radioactive supérieure à celle de l'uranium.

Le programme de remise en service s'articule autour de sept éléments majeurs : la sûreté, la conformité réglementaire, l'assainissement, la ventilation, la stabilité de la mine et son habitabilité, la formation du personnel et la reprise du stockage des déchets.

La seconde phase consistera en une succession d'étapes destinées à remédier à la source de contamination, rétablir les conditions nécessaires à l'exploitation, et tirer toutes les conséquences de l'expérience des deux incidents de février sous la forme de programmes et procédures, avant reprise de l'exploitation.

## **Annexe 4 : Volet recherche pour la période 2016-2018**

Cette annexe du PNGMDR vise à présenter à la fois un bilan des recherches menées sur la gestion des matières et déchets radioactifs durant la période du précédent plan (2013-2015) et les perspectives de recherches à mener à moyen terme.

Ce document n'est cependant pas exhaustif dans la mesure où certains sujets prospectifs débouchant sur le long terme peuvent être menés en parallèle.

Après une présentation des acteurs structurant la recherche menée dans le cadre du PNGMDR, il est construit autour des objectifs stratégiques suivants :

- Améliorer la connaissance et travailler en amont sur le conditionnement des déchets et le comportement des colis ;
- Accompagner les projets de stockage pour les déchets HA, MA-VL, FA-VL et les projets d'entreposage ;
- Poursuivre les recherches sur les réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides et les possibilités de mettre en place un cycle du combustible fermé.

Le dernier paragraphe de cette annexe présente les principales installations de recherche utilisées pour les études conduites dans le cadre du PNGMDR.

### **Acteurs structurant la recherche menée dans le cadre du PNGMDR**

La recherche concernant la gestion durable des matières et déchets radioactifs est principalement portée par deux organismes : l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) dont les responsabilités respectives dans ce domaine ont été initialement fixées par la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative à la gestion à long terme des déchets radioactifs.

Les principaux résultats des recherches conduites dans le cadre de cette loi ont fait l'objet d'une synthèse en 2005 qui a permis de dresser les grandes orientations de la loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

Trois grands axes de recherche complémentaires sont définis pour les déchets radioactifs à vie longue de haute ou de moyenne activité :

- Axe 1 (piloté par le CEA) : recherche de solutions permettant la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans ces déchets;
- Axe 2 (piloté par l'Andra) : études visant à pouvoir mettre en service un centre de stockage réversible en couche géologique profonde ;
- Axe 3 (piloté par l'Andra) : études pour répondre aux besoins en capacités d'entreposages recensés par le PNGMDR.

Des actions de R&D sont également réalisées par les industriels (EDF et Areva), en partie dans le cadre d'accords les associant avec le CEA ou l'Andra. L'ensemble de ces organismes s'appuie en tant que de besoin, sur le vivier de compétences que sont le CNRS, qui a restructuré ses recherches en 2011 autour d'un nouveau programme de recherche interdisciplinaire, nucléaire : énergie, environnement, déchets, société (NEEDS), les Universités, et d'autres organismes comme par exemple le BRGM ou l'INERIS. Enfin, il faut citer l'IRSN, dont les recherches visent

d'abord à lui assurer un niveau d'expertise en sûreté nucléaire et radioprotection satisfaisant pour lui permettre de jouer son rôle d'appui technique de l'ASN et de l'ASND.

Le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs mis en place depuis 2006, décrit les solutions de gestion développées pour les matières et déchets radioactifs et précise un certain nombre de jalons sur trois ans qui rythme la stratégie des recherches. La Commission nationale d'évaluation (CNE2) évalue régulièrement les recherches menées dans le domaine et propose dans ses recommandations certaines orientations pour la stratégie à mettre en œuvre. À noter que la Commission juge favorablement l'ancrage européen et international des recherches effectuées par l'Andra, le CEA et le CNRS<sup>230</sup>.

Soulignons la volonté de la Commission européenne de construire des synergies entre les différents acteurs de la gestion des matières et déchets radioactifs avec le lancement du projet JOPRAD en 2015, associant trois types d'acteurs : les organisations en charge des stockages géologiques (Waste management operators, WMO, i.e. l'Andra pour la France) déjà regroupées au sein de la plateforme européenne IGD'TP (Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform), les organismes scientifiques exerçant une fonction d'expertise en support aux autorités de sûreté (Technical Safety Organisations, TSO, i. e. l'IRSN pour la France) déjà en contact au travers des projets européens SITEX et SITEX II, et les entités de recherche (Research Entities, RE) telles que le CNRS, le CEA, le BRGM, etc. dont certaines sont déjà partenaires d'un programme fédérateur (PF) dans le cadre de NEEDS portant sur le stockage géologique.

Afin d'assurer la mise en œuvre d'une stratégie partagée entre les opérateurs impliqués dans tous ces programmes de recherche et d'en suivre les activités au travers des divers coopérations engagées au plan international, deux comités ont été mis en place coprésidés par la DGEC et la DGRI :

- le COSRAC (Comité d'Orientation et de Suivi des Recherches sur l'Aval du Cycle), mis en place en 1995,
- le COSSYN (Comité d'Orientation et de Suivi des recherches pour les SYstèmes Nucléaires), mis en place en 2007.

Il est actuellement envisagé de fusionner ces deux comités pour permettre aux tutelles d'avoir, dans le cadre de la mise en œuvre de la transition énergétique, la meilleure vision possible des différents scénarios envisageables d'évolution du parc électronucléaire (sûreté et durée de vie des réacteurs existants, déploiement des réacteurs de 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> génération, y compris réacteurs à neutrons rapides...) et des implications en termes de besoins de R&D en physique des réacteurs et du cycle, qu'il s'agisse de questions relatives à la gestion des matières (multi-recyclage du plutonium, recyclage de l'uranium appauvri, développement d'une nouvelle génération de combustibles et matériaux de gainage, etc...) ou des déchets (nature des déchets produits, R&D pour développer de nouveaux procédés de traitement-conditionnement, impact des modes de gestion sur l'inventaire en déchets HA, MA-VL, FA-VL, en tritium, en déchets à ce jour « sans filière » et sur le dimensionnement des installations destinées à gérer ces déchets).

---

<sup>230</sup> Le rapport d'évaluation n°9 est disponible sur le site internet de la CNE2 : [www.cne2.fr](http://www.cne2.fr)

## **Améliorer la connaissance et travailler en amont sur le conditionnement des déchets et le comportement des colis**

L'exploitant d'une installation de conditionnement de déchets radioactifs est, en articulation avec le producteur des déchets, responsable de la qualité de production du colis de déchets radioactifs. Il doit en maîtriser les caractéristiques et, pour cela, définir un dossier définissant les modalités de conditionnement et précisant le comportement du colis produit, notamment en conditions de stockage. À terme, l'Andra établira des spécifications d'acceptation pour le stockage dans son installation. Les producteurs de colis de déchets radioactifs devront démontrer la compatibilité des colis produits à ces spécifications.

Le CEA, à la demande des producteurs et des exploitants, réalise une part importante de la R&D nécessaire à la mise en œuvre des procédés et à l'amélioration de la connaissance des caractéristiques des déchets conditionnés.

Pour établir ces spécifications d'acceptation, l'Andra a mis en place des programmes d'études du comportement à long terme des différentes familles de colis dans l'environnement du stockage. Pour conduire cette R&D, il est apparu à l'Andra nécessaire de mettre en place des structures dédiées sous la forme de groupement de laboratoires. Le CEA et EDF participent à certains de ces groupements de laboratoires.

L'ensemble des acteurs s'accorde pour insister sur la nécessité de poursuivre, selon des besoins complémentaires et ciblés de démonstrations de la sûreté nucléaires du stockage, les axes de recherche suivants :

- améliorer la modélisation du comportement des colis de déchets en conditions de stockage pour en réduire les incertitudes lorsque les études d'impact le justifient,
- préciser, au cas par cas, les inventaires radiologiques pouvant être par défaut majorés ou surévalués, en développant ou améliorant des moyens analytiques, ou en déployant des techniques statistiques par calculs de ratio vis à vis de radionucléides plus facilement mesurables *ad hoc* ;
- préciser, en tant que de besoin, les inventaires chimiques ainsi que les termes sources des composés chimiques et gazeux importants pour la sûreté en phase de fonctionnement du stockage ;
- préciser les cinétiques de relâchement pour les déchets dont les termes sources actuellement considérés apparaissent trop conservatifs ou pénalisants (labiles).

Les améliorations de connaissances sur les colis obtenues grâce à ces recherches doivent *in fine* permettre de vérifier l'acceptabilité des colis au stockage selon les critères définis pour chaque type de stockage.

### **Déchets de graphite : scénarios de gestion et traitement**

L'une des solutions envisagées pour la gestion des déchets de graphite repose sur le stockage direct de l'ensemble des déchets de graphite dans un stockage à faible profondeur.

Toutefois, EDF a engagé depuis 2009 et poursuit, en lien avec le CEA et l'Andra, un programme de R&D portant sur un procédé de décontamination des déchets de graphite par traitement thermo-chimique.

En fonction des performances de décontamination qu'il permettrait, ce procédé de décontamination pourrait s'inscrire :

- soit dans un scénario poussant le traitement jusqu'à la gazéification du graphite une fois suffisamment décontaminé,
- soit dans un scénario mettant en œuvre une étape de décontamination préalable à son stockage.

Les résultats obtenus ont montré que la gazéification, qui implique une étape de décontamination préalable très performante, n'est plus une hypothèse industriellement réaliste. Le traitement conserve toutefois un intérêt s'il permet, avec un niveau de sûreté satisfaisant, de garantir l'acceptabilité des déchets de graphite en stockage.

Dans ce contexte, des actions de R&D en cours et prévues portent sur :

- la poursuite des travaux vers l'identification de la durée du traitement et des couples température – composition du gaz de traitement optimaux,
- l'avancement des réactions au terme du traitement et la sélectivité du traitement,
- la quantification de l'influence du traitement sur la spéciation et le relâchement des radionucléides,
- l'identification des filières de gestion potentielles pour les déchets induits par le procédé de traitement.

## **Déchets MA-VL**

### Les boues bitumées

L'Andra, AREVA, le CEA et EDF ont réalisé entre 2013 et 2015 un programme R&D conjoint portant sur le comportement des colis de boues bitumées, en réponse à la demande de la Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs (CNE2) qui souhaitait dans son rapport n°6 de fin 2012: « *en raison des incertitudes sur le comportement des colis de boues bitumées, notamment en cas d'incendie (...) recevoir pour décembre 2014 une démonstration en vraie grandeur avec une analyse de sûreté du comportement en stockage du colis primaire et de son conteneur, dans les conditions les plus pénalisantes* ». La CNE2 demandait que « *l'analyse de sûreté doit être faite conjointement par le CEA et l'Andra* ». Le programme d'étude a apporté ainsi en priorité des résultats de démonstration de la maîtrise du risque incendie, pendant la phase de fonctionnement d'une installation de stockage en couche géologique profonde.

Ce programme conjoint couvre les axes suivants :

- l'étude du comportement thermique intrinsèque des enrobés bitumineux, de la petite échelle de laboratoire jusqu'à l'échelle 1, reproduisant les effets d'un incendie en conditions réelles sur un colis de stockage béton contenant 4 colis primaires d'enrobés représentatifs des enrobés bitumineux industriels ;
- l'étude expérimentale et la modélisation de la radiolyse des enrobés bitumineux, visant à quantifier le terme source hydrogène et l'impact potentiel sur la tenue mécanique du colis de stockage en béton ;
- l'acquisition de données expérimentales complémentaires sur le gonflement résultant de la reprise d'eau par les sels confinés dans les enrobés bitumineux afin de confirmer l'absence d'interactions préjudiciables entre le gonflement de l'enrobé et les propriétés mécaniques du callovo-oxfordien autour des alvéoles.

Les résultats de ce programme de R&D ont été jugés positifs par l'Andra, Areva, le CEA et EDF. Le dernier rapport de la CNE2 considère que : « Les études de tenue des colis bitumes en stockage dans les conditions thermiques d'un important incendie démontrent la robustesse des colis de stockage ainsi que l'inertie chimique des enrobés bitumineux. Ces nouvelles données dissipent les craintes liées aux incendies d'origine externe au colis dans les installations de Cigéo. »<sup>231</sup>

Une instruction approfondie de ces résultats devra cependant être réalisée par l'ASN afin de statuer notamment sur la possibilité du stockage des colis de déchets bitumés pendant la première tranche du stockage profond.

#### Les déchets technologiques contenant des matières organiques riches en émetteurs alpha

Les déchets technologiques riches en émetteurs alpha sont issus des installations de fabrication et de traitement du combustible. Ces déchets présentent la particularité de contenir à la fois des matières métalliques et des matières organiques. Il est ainsi étudié, en situation de stockage, les processus de radiolyse de la matière organique qui produit du dihydrogène. La radiolyse puis l'hydrolyse ultérieure par resaturation future des alvéoles de stockages produira des molécules organiques potentiellement complexantes pour certains des actinides comme l'uranium et le plutonium. Plusieurs approches d'études sont possibles pour évaluer les conséquences à long terme sur la migration potentielle des radionucléides ainsi complexés par de tels processus, dans la barrière géologique. L'Andra retient ainsi une approche amont visant à compléter les bases de données thermodynamiques des principaux complexes attendus, afin de vérifier leur domaine de stabilité en conditions géologiques.

Dans le domaine de la radiolyse, des travaux de R&D ont été réalisés par le CEA et Areva et ont conduit au développement d'une base de données et de modèles prédictifs visant à quantifier les termes sources gaz de ces colis. Concernant la détermination des produits de dégradation hydrosolubles (PDH), les travaux déjà engagés vont se poursuivre sous la forme d'un programme de R&D commun Andra/producteurs. Ce programme a pour objectifs de disposer d'éléments permettant de quantifier le caractère majorant de l'évaluation de ces PDH et de leur pouvoir complexant.

Actuellement le CEA conditionne ce type de déchets par compactage et cimentation. Areva dispose d'un mode de conditionnement par cimentation pour une partie des déchets technologiques contaminés alpha. L'ensemble des déchets produits ne pouvant toutefois pas être conditionné par ce mode, Areva a conduit des études relatives au développement de procédés thermiques.

Les études d'orientation concernant les procédés thermiques réalisées en 2010/2011 ont mis en évidence l'absence de technologie directement transposable aux déchets technologiques contenant de la matière organique riches en émetteurs alpha. La R&D a depuis porté sur les technologies d'incinération/fusion/vitrification mettant en œuvre des plasmas qui répondent le mieux au cahier des charges relatif au procédé. Elles consistent à chauffer la phase métallique par induction basse fréquence, puis à chauffer le verre par transfert thermique à l'interface métal/verre. Une ou plusieurs torches plasma permettent de réaliser la combustion de la part organique des déchets.

---

<sup>231</sup> Rapport d'évaluation n°9 de la CNE2, juin 2015, p. 7.

Ces technologies reposent sur des innovations technologiques majeures (mise en œuvre de la torche plasma en milieu nucléaire, mise en œuvre des opérations de fusion et vitrification au sein d'un même procédé, conditionnement final comportant deux phases séparées verre/métal dans un même conteneur...) et la faisabilité n'est pas encore acquise. Elles impliquent également la maîtrise de la gestion des contraintes spécifiques de criticité et la mise en œuvre d'un procédé très haute température associé à une conception en boîte à gants.

À ce stade, il est apparu nécessaire de lancer la réalisation d'un prototype à l'échelle 1, objet de R&D sur la période allant de 2011 à 2018. Il doit permettre de qualifier le procédé en inactif. Cette R&D fait l'objet d'une demande de financement dans le cadre des investissements d'avenir.

### Autres déchets MA-VL

Dans le Dossier 2005 relatif à la faisabilité d'un stockage géologique en couche argileuse, les modèles et données disponibles pour les déchets MA-VL portaient essentiellement sur les vitesses de corrosion des matériaux métalliques des colis standard de déchets compactés (CSD-C) et sur les termes sources des colis de boues bitumées. Les études réalisées depuis par le CEA, Areva et EDF pour répondre au besoin de connaissances de l'Andra permettent de confirmer ces éléments, mais apportent également de premières informations complémentaires sur les déchets suivants :

- déchets métalliques : détermination des vitesses de corrosion des alliages d'aluminium et de magnésium ;
- déchets polymères : évaluation des rendements radiolytiques de production des différents gaz pour les différents polymères, détermination de la nature et de la quantité des produits de dégradation hydrosolubles résultant de la radiolyse et de l'hydrolyse de ces polymères ;
- verres MAVL : proposition d'un modèle d'altération des verres.

### **Les combustibles usés**

Un programme d'étude sur les combustibles REP a été conduit conformément à la demande du PNGMDR qui était de produire, pour 2011, un modèle de relâchement moins majorant que celui retenu pour le Dossier 2005. Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet sont en grande partie transposables aux autres combustibles<sup>232</sup> à matrice  $UO_2$ .

Un modèle d'altération de la matrice des combustibles usés a été développé par le CEA. Il intègre la radiolyse, la géochimie et l'électrochimie. Il est applicable aux combustibles  $UO_x$  et  $MO_x$  et devrait permettre à terme un couplage avec les matériaux d'environnement. Il conduit à une durée de vie du combustible semblable à celle retenue dans le dossier 2005 (de 50 000 à 100 000 ans).

Des premiers résultats expérimentaux sur la dissolution d' $UO_2$  dopé en eau argileuse semblent par ailleurs montrer un contrôle de l'altération par une phase silicatée (silicate d'uranium). Ceci pourrait conduire à un mécanisme d'altération plus lent que celui résultant des modèles actuels pour certains radionucléides.

Dans la suite de ces actions, il conviendra d'intégrer les résultats obtenus dans le cadre du programme FIRST-Nuclides, mené dans le cadre européen, et de poursuivre les travaux

---

<sup>232</sup> Combustibles issus de réacteurs civils (UNGG et réacteur à eau lourde EL4, réacteurs expérimentaux du CEA, réacteurs à terre ou embarqués exploités dans le cadre d'activités relevant de la défense nationale.

expérimentaux et de modélisation sur le comportement des combustibles UO<sub>x</sub> et MO<sub>x</sub> afin de préciser les connaissances notamment au regard de leurs comportements respectifs en conditions de stockage.

### **Les déchets vitrifiés**

Les vitesses de dissolution initiale et résiduelle des verres (verres R7/T7) produits à La Hague ont été évaluées dans un large domaine de conditions d'environnement : corrosion atmosphérique, altération en eau pure ou en eau argileuse, altération en présence de matériaux d'environnement (produits de corrosion et argilites) :

- la corrosion atmosphérique du verre (en présence de vapeur d'eau) conduit à des vitesses d'altération supérieures à la vitesse résiduelle en eau pure ;
- les vitesses de dissolution du verre en eau pure et en eau argileuse ont été acquises à 30 °C, conduisant à une diminution de l'altération du verre par rapports aux valeurs à 50 °C retenues dans le dossier 2005 ;
- la corrosion du verre en eau argileuse conduit à des vitesses initiales supérieures d'un facteur 5 à celles obtenues en eau pure. Les vitesses résiduelles sont également multipliées par un facteur 1 à 5 dépendant de la concentration en magnésium au voisinage du verre et du pH.

Les produits de corrosion des chemisages et surconteneurs métalliques, résultant d'un processus de long terme (plusieurs milliers à une dizaine de milliers d'années) sont majoritairement constitués de carbonate de fer. Ces produits de corrosion augmentent la cinétique d'altération du verre et retardent le passage en vitesse résiduelle du fait de leur capacité à sorber et à coprécipiter la silice. Par ailleurs, les études menées sur le comportement en compression du verre confirment une évolution très faible de sa fracturation sous chargement mécanique en stockage. Ce mécanisme n'est donc pas de nature à dégrader le confinement à long terme apporté par la matrice vitreuse.

Parallèlement, un modèle mécanistique de comportement à long terme du verre R7/T7, le modèle GRAAL, est en développement. Ce modèle s'attache à décrire la cinétique complète de dissolution du verre en fonction des conditions d'environnement. Les études actuelles visent à élargir son domaine d'application afin d'être en mesure d'intégrer cette description mécanistique dans le modèle opérationnel de comportement des colis de déchets vitrifiés en situation de stockage.

Deux modèles d'altération sont retenus pour les verres HA. Le premier repose sur la vitesse initiale d'altération et conduit à des durées de vie de quelques centaines à quelques milliers d'années. Le second repose sur la vitesse résiduelle et conduit à des durées de vie de l'ordre de quelques centaines de milliers d'années. Le premier modèle s'applique à la plupart des verres « froids »<sup>4</sup> (verres UMo, PIVER et AVM) alors que le second s'applique aux verres « chauds » et à quelques familles de verre AVM.

Ces travaux vont permettre, pour les calculs de performance et de sûreté nécessaires pour la demande d'autorisation de création de Cigéo, une évaluation plus précise et plus robuste du comportement de ces familles de verres en situation de stockage. Les travaux dans les trois ans à venir devront en particulier porter sur :

- l'altération du verre en conditions dite insaturée (présence de vapeur d'eau), afin de couvrir la première phase post-fermeture du stockage géologique ;
- l'altération en eau de site et la mise en évidence d'un effet du magnésium ;
- l'influence des matériaux d'environnement, notamment des produits de corrosion ;

- l'interprétation des résultats des expérimentations en laboratoire souterrain.

### **Les déchets des réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération à neutrons rapides**

Il s'agit de disposer des éléments de connaissance nécessaires pour préparer un déploiement progressif de réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération à neutrons rapides :

- alimentés dans une première étape par l'uranium et le plutonium contenu dans les combustibles issus des réacteurs à eau pressurisée (et notamment les combustibles MOX usés) ;
- avec ensuite la mise en œuvre d'un recyclage systématique de l'uranium et du plutonium ;
- et, le cas échéant, la mise en œuvre d'options de transmutation de certains actinides mineurs.

Il conviendra d'étudier l'incidence de ces évolutions de technologies et de stratégie de gestion des matières sur les déchets générés. L'horizon lointain de déploiement de ces systèmes permet de mener une R&D d'innovation sur ces sujets. On peut citer parmi les principaux objectifs de recherche :

- les études visant à limiter dès la conception la génération des déchets comportant des éléments à vie longue ;
- l'étude de voies alternatives de traitement et conditionnement, par exemple un procédé de fusion pour les déchets métalliques ;
- la caractérisation et la gestion des déchets, et notamment déchets secondaires (gainés, éléments de structure des assemblages combustibles) et déchets d'exploitation du réacteur (pièges froids, barres de commande) ;
- l'incidence sur le concept de stockage d'options de transmutation (pour évaluer par exemple l'impact d'une charge thermique des verres significativement diminuée à long terme).

### **Accompagner les projets de stockage (déchets HA et MA-VL, FA-VL) et les projets d'entreposage**

#### **Le stockage pour les déchets de faible activité à vie longue**

La mise en œuvre de filières de gestion à long terme des déchets de type FA-VL se base sur des actions de R&D depuis au moins 10 ans pour en préciser la faisabilité, acquérir les compléments de connaissance nécessaires à la démonstration de sûreté du stockage et élaborer les exigences de conception des moyens industriels qui seront retenus *in fine*. Ces moyens concernent le stockage à faible profondeur ainsi que les opérations amont telles que d'éventuels traitements et le conditionnement des résidus associés. Les actions de R&D relatives à ces opérations sont précisées au paragraphe 2.1 de la présente annexe.

En 2015, l'Andra a rendu un rapport d'étape, qui permet de tirer les enseignements des investigations géologiques réalisées sur la période 2013-2015 ainsi que des avancées des études et recherches menées sur les déchets par l'Andra et les producteurs (EDF, CEA, Areva, Solvay). Des études de conception préliminaires du stockage ont été menées et ont fait l'objet d'une première évaluation de sûreté par l'Andra. En parallèle, l'analyse des différents scénarios de gestion des déchets de graphite et bitumés FA-VL a été poursuivie dans le cadre du groupe de travail PNGMDR sur l'optimisation des filières. Sur cette base, le rapport identifie les sujets à approfondir dans la suite du programme d'études et recherches sur le site investigué et sur

L'ensemble de l'inventaire des déchets FA-VL afin d'apporter les éléments de démonstration, en vue de la création du stockage.

Les études à l'Andra ont permis de définir une zone d'environ 10 km<sup>2</sup> au nord du secteur d'étude dont les caractéristiques géologiques lui paraissent favorables à la poursuite de l'étude d'un stockage à faible profondeur (épaisseur moyenne de la couche d'argile d'environ 55 m et gradient hydraulique descendant faible). Les investigations géologiques complémentaires à réaliser sur cette zone en 2016-2017 viseront à préciser les connaissances sur le milieu géologique.

Les principaux points clés de la suite du programme de R&D sont les suivants :

- la poursuite des investigations géologiques sur la zone favorable de 10 km<sup>2</sup> afin de disposer d'un niveau de connaissance plus détaillé (dépôts de surface, chimie des eaux des argiles téglines, notamment en surface, organisation des écoulements...);
- la poursuite des travaux de caractérisation des déchets (inventaire radiologique et chimique, spéciation du carbone 14 des déchets de graphite, notamment la quantité et les molécules de la forme organique...);
- l'étude du comportement des radionucléides en condition de stockage (conditions de relâchement par le déchet et rétention dans les matériaux cimentaires et argileux, en particulier des molécules organiques <sup>14</sup>C...);
- l'étude du comportement hydromécanique et géochimique de la couverture remaniée dans le cas d'un stockage avec excavation à ciel ouvert.

### **Le stockage réversible en couche géologique profonde pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue - projet Cigéo**

#### Avancement du programme expérimental du laboratoire souterrain de Meuse-Haute-Marne

Un effort important a été mené par l'Andra en termes d'essais dans le laboratoire souterrain et d'essais en surface, concernant les alvéoles HA et les scellements.

#### *Alvéole HA*

Les essais de réalisation d'alvéoles de stockage de déchets de haute activité (HA) se sont poursuivis, en 2014, avec le creusement dans le laboratoire souterrain. Le concept d'alvéole a évolué : dans une alvéole de 40 mètres de long, le remplissage avec un coulis de ciment de l'espace entre la roche creusée et le tubage métallique (chemisage) de l'alvéole a été testé. L'objectif est de gérer le transitoire acide lié à l'oxydation des argilites en champ proche lors du creusement et éviter *in fine* des cinétiques de corrosion élevées en favorisant la formation d'une couche de passivation. L'étude de la déformation du chemisage est en cours. Des essais complémentaires sont prévus fin 2015 et en 2016 sur des alvéoles de 80 mètres de long et avec des méthodes industrielles de remplissage de l'espace.

#### *Creusement*

La conception du stockage doit préserver les propriétés favorables de la roche. Pour cela, il faut notamment veiller à limiter les impacts liés au creusement de la roche et à l'apport de matériaux et de substances étrangers au milieu. Une nouvelle méthode de creusement en deux temps a été testée en 2014 dans le Laboratoire souterrain : le « déconfinement préalable au creusement » (DPC). Il s'agit de creuser une première galerie de faible diamètre afin de provoquer une première décharge mécanique puis de procéder à l'élargissement de la galerie, en profitant de la décharge initiale pour limiter *in fine* l'endommagement. Une galerie de 43 mètres de longueur a ainsi vu son diamètre passer de 3,5 à 5 mètres entre juillet et octobre 2014.

### *Scelllements*

L'Andra doit démontrer sa capacité à fermer le stockage pour préparer la demande d'autorisation de création de Cigéo. Pour ce faire, différentes expérimentations complémentaires et visant à donner une vision globale du processus de réalisation puis de comportement d'un scellement d'un ouvrage dans la couche du Callovo-Oxfordien ont été réalisés en menés en 2014 ou ont franchi une étape importante fin 2014.

Le retrait du soutènement dans la galerie du laboratoire souterrain, à moins 445 mètres a été réalisé. Ce retrait du soutènement est envisagé dans Cigéo afin d'assurer un contact direct entre la roche argileuse et le noyau en argile gonflante des scellements des puits et des descenderies qui relie la surface et les installations au fond. Sur 6 mètres de longueur, les cintres métalliques qui formaient le soutènement ont été enlevés. La faisabilité technique de l'opération a été démontrée. Les observations et mesures réalisées montrent que le terrain est stable et que les déformations des parois restent à ce stade négligeables. Un suivi à long terme de l'ouvrage et de la perméabilité de la roche alentour a été mis en place.

Dans le cadre de l'expérimentation FSS (Full Scale Seal) intégrée dans le projet européen Dopas, l'Andra a construit une maquette représentative d'une section de galerie de Cigéo dans un entrepôt situé à Saint-Dizier. En 2014, le scellement de cette galerie maquette de 10m de diamètre a été réalisé. Deux techniques différentes ont été testées pour créer les massifs d'appui permettant de contenir le noyau en bentonite lors de son gonflement : l'un des appuis a été réalisé avec un béton fluide auto-plaçant, l'autre appui utilise la méthode industrielle du béton projeté. Pour le noyau de bentonite de 750 m<sup>3</sup>, un mélange de poudre et de « pellets » (billes) de bentonite a été utilisé, et le remplissage s'est fait à l'aide de tubes convoyeurs. La première analyse qualitative de la qualité du remplissage du noyau et des murs d'appui montre que les opérations se sont déroulées de manière satisfaisante. Fin 2015, il est prévu de déconstruire le scellement, ce qui permettra de mettre en place une méthodologie de démantèlement qui pourrait être utile pour engager des éventuelles opérations de récupérabilité des colis en alvéole de déchets MA-VL.

Si l'essai FSS a pour objectif de développer et valider une méthode industrielle de réalisation d'un scellement, l'étude du processus complet d'hydratation et de gonflement de la bentonite du noyau ne peut pas se faire à l'échelle 1 : il faudrait *a minima* plusieurs milliers d'années pour resaturer totalement les 750 m<sup>3</sup> de bentonite de FSS. Pour étudier ce processus, il convient donc de travailler à plus petite échelle ; cela est réalisé dans le cadre de l'essai Resaturation à l'Echelle Métrique (REM) mené à l'Espace technologique du Centre de Meuse/Haute-Marne. Il s'agit d'une cuve en inox qui a été remplie en 2014 avec 1 m<sup>3</sup> du mélange de bentonite de FSS, puis le mélange a été mis en hydratation. Le dispositif comprend des centaines de capteurs qui permettent de suivre la cinétique de l'hydratation jusqu'à la saturation totale du noyau (estimée d'ici 30 à 60 ans) ainsi que celle de la pression de gonflement associée à l'hydratation.

Entre le démonstrateur technologique à en taille réelle FSS et l'essai REM, l'Andra mène l'expérimentation Noyau de SCellement (NSC) sur le comportement hydromécanique et la performance hydraulique d'un noyau de scellement. Cette étude a lieu dans une des galeries du laboratoire souterrain, qui fait environ 5 m de diamètre, soit la moitié de la taille des galeries envisagées pour Cigéo. Cet essai de scellement est composé de deux murs en béton et d'un noyau de briques compactées de bentonite. En 2014, l'hydratation artificielle du noyau a été lancée : sa saturation totale est estimée entre 1 et 3 années, du fait de la mise en place de nombreux dispositifs d'hydratation au cœur du noyau de bentonite.

Enfin, à côté de ces essais, l'expérimentation BHN (Bentonite Hydratation Naturelle) a aussi été démarrée en 2014. Il s'agit d'un scellement, réalisé dans le laboratoire souterrain dans un tunnel de 70 cm de diamètre sur 3 m de long, et hydraté naturellement et seulement par la roche.

### Perspectives du programme expérimental du laboratoire souterrain de Meuse-Haute-Marne

Le programme expérimental jusqu'à 2017 prévoit d'intensifier plus encore les essais technologiques et la réalisation d'expérimentations pour répondre aux demandes des organismes évaluant les programmes de R&D (CNE notamment) et d'acquérir les données nécessaires pour l'établissement d'une demande d'autorisation de création répondant aux exigences de l'ASN. Les travaux s'organisent suivant deux trois axes :

- Poursuivre le programme associé à la construction des galeries et des alvéoles HA ;
- Compléter les acquisitions sur les caractéristiques des argilites du Callovo-Oxfordien du point de vue géo-mécanique (lois de comportement de l'argilite saine et de l'argilite endommagée, correspondant à un réseau dense 3D de fractures interconnectées, comportement THM des argilites, propriétés d'écoulement de l'eau et du gaz de la zone endommagée), priorité pour les programmes d'études d'ingénierie et de simulation ;
- Poursuivre le test des composants de scellement de galeries, en vue d'optimisations technologiques des ouvrages du stockage et de tests de performance.

Pour réaliser ce programme, de nouvelles galeries seront creusées entre 2015 et 2017.

### **Les apports à la connaissance phénoménologique du stockage**

On retient ici trois thèmes sur lesquels, au travers de l'expérimentation et de la modélisation, des progrès significatifs ont été réalisés quant à la connaissance des propriétés et du comportement de différents composants du stockage et notamment du milieu géologique.

#### La zone endommagée des argilites autour des ouvrages du stockage

La zone endommagée initiale (définie comme celle après excavation) est caractérisée aujourd'hui depuis la paroi des ouvrages par deux zones emboîtées :

- une zone, dite fracturée connectée, correspondant à un réseau dense 3D de fractures interconnectées ;
- une zone, dite fracturée discrète, caractérisée par des fractures peu ou pas interconnectées.

Ces deux zones ont globalement une forme de type elliptique ; les dimensions des petits axes de la zone fracturée connectée (EDZ) et de la zone fracturée discrète sont quasiment identiques alors que celles des grands axes diffèrent significativement (plusieurs rayons). Cette structuration de la zone endommagée se retrouve quelle que soit la taille de l'ouvrage. En regard du champ de contrainte mécanique *in situ*, elle est due au comportement anisotrope et faible des argilites sur un chemin en extension. Les mesures de déformation montrent que l'essentiel du comportement différé à court et moyen terme est localisé dans la zone endommagée, plus particulièrement au niveau des fractures.

L'Andra considère que les données expérimentales obtenues soulignent les capacités d'auto-colmatage par gonflement des minéraux smectites et de fermeture mécanique des argilites endommagées. Ces mécanismes sont mis en jeu très rapidement et conduisent à une récupération d'une perméabilité à l'eau très faible proche de celle faible des argilites.

## Les déchets et les combustibles usés

L'année 2014 a été marquée par la consolidation des connaissances sur le comportement des colis de déchets ainsi que par l'établissement des modèles de relâchement des radionucléides dans le cadre de la préparation d'un dossier d'options de sûreté (DOS) :

- Concernant les déchets vitrifiés, les premières expériences d'altération en eau de site à 70° C ont permis de préciser le pH seuil ( $\text{pH}_{70^\circ} = 7.5 \pm 0.1$ ) au-dessus duquel on observe la précipitation de phases magnésiennes qui conditionnent la vitesse d'altération du verre. L'essentiel des travaux de R&D a porté sur les interactions entre le verre et les matériaux d'environnement et notamment sur la caractérisation à cette interface des silicates de fer qui constituent un enjeu vis-à-vis de la détermination de la vitesse d'altération résiduelle du verre en stockage. Les études 2015/2016 intégreront les modifications de conception de l'alvéole HA et notamment les interactions éventuelles entre le matériau de remplissage à base cimentaire mis en place entre le chemisage et la roche et les déchets vitrifiés.
- Les études sur les déchets MA-VL ont portées principalement sur deux volets : la radiolyse et l'hydrolyse des polymères avec des avancées notables sur l'estimation de la production de dihydrogène et sur la quantification des espèces complexantes relâchées, et les problématiques liées au stockage des colis de boues bitumées pour lesquelles de nombreux éléments ont pu être obtenus en particulier sur le risque incendie, la production de gaz et le gonflement par radiolyse. Par ailleurs, des modèles de relâchement des verres MA-VL ont été établis sur la base des essais de lixiviation en eau cimentaire ; ces essais montrent la présence de reprise d'altération du verre en présence de ciment « classique » mais pas en présence de ciment bas pH. Pour 2015/2016, des résultats de R&D sont attendus sur les thématiques suivantes : le gonflement sous eau des boues bitumées et la corrosion des alliages d'aluminium en milieu cimentaire.
- Les actions de R&D sur les combustibles usés se sont notamment traduites par la proposition de termes sources pour des combustibles UOx et MOx reposant sur le modèle d'altération électrochimique développé par l'Andra, le CEA et EDF. Par ailleurs, les travaux expérimentaux ont mis en évidence le faible relâchement de l'uranium en solution en conditions de stockage notamment en présence de fer.

## Matériaux du stockage

Un enjeu important en termes de R&D sur les matériaux concerne le dimensionnement des conteneurs et chemisages des alvéoles de déchets HA. Les expérimentations dans le laboratoire souterrain ont montré que l'oxydation des minéraux (pyrites) des argilites en paroi d'alvéole lors de son creusement était à l'origine d'un processus d'acidification du milieu au contact du chemisage lors de la resaturation ; ce processus est susceptible de conduire à des vitesses de corrosion élevées, de plusieurs centaines de micromètres par an. Ces résultats ont orienté les choix de conception de l'alvéole HA vers la mise en place d'un matériau de remplissage (à base de ciment) entre le chemisage et la roche, afin de constituer un tampon acido-basique. Les travaux de R&D ont ainsi portés sur la définition d'un domaine de composition de ce matériau ainsi sur son évolution chimique dans le temps et plus globalement sur les conditions géochimiques au sein de l'alvéole HA. Il s'agit à la fois d'assurer un tampon acido-basique et de limiter les interactions à terme entre ce matériau cimentaire et le verre ; c'est pourquoi un ciment bas pH est pour l'instant privilégié. Par ailleurs, compte tenu du comportement mécanique anisotrope attendu du chemisage HA, des essais de corrosion sous contraintes ont été réalisés sur le l'acier constitutif du chemisage. Ils devront se poursuivre en intégrant l'acier du conteneur ainsi que le matériau de remplissage à base cimentaire.

Concernant les matériaux cimentaires, des modèles couplés hydratation/propriétés mécaniques (développé initialement pour des ciments CEM I) ont été développés pour des ciments mélangés (ciments aux laitiers de hauts fourneaux et aux cendres volantes), avec une application aux ciments bas pH formulés pour les zones de scellement. L'Andra dispose aujourd'hui d'une gamme de formulations de bétons bas pH bien caractérisés et qui font également l'objet de suivi dans le cadre des expérimentations en laboratoire souterrains (cf. expérience FSS).

### Perspectives scientifiques

On relève ici plusieurs points essentiels sur lesquels des recherches sont conduites pour améliorer la compréhension globale du comportement des éléments du stockage.

*Les cinétiques de corrosion des composants métalliques en acier faiblement allié* et le couplage avec le comportement hydraulique des alvéoles dans la production et la migration des gaz. Le domaine d'incertitude sur les cinétiques de corrosion des composants en acier faiblement allié des alvéoles HA (chemisage et sur-conteneur) est encore élevé ; plus spécifiquement, l'évolution de la cinétique de corrosion d'abord élevée puis décroissante, voire se maintenant dans le temps, n'est pas, à ce stade, pleinement expliqué.

#### *Le comportement mécanique des ouvrages et du stockage*

La représentation de la zone endommagée en tant que milieu fracturé et les vitesses de déformation différée des argilites sur le long terme constituent deux axes de travail tant en expérimentation qu'en simulation numérique. La saturation des scellements est aujourd'hui évaluée à partir notamment de modèles de représentation simplifiée du comportement hydromécanique des assemblages de « pellets ». Il faudra notamment évaluer les effets locaux et transitoires spécifiques durant la saturation pour consolider le domaine de dimensionnement retenu et *in fine* la maîtrise de l'évolution phénoménologique des scellements.

#### *Observation-surveillance du stockage*

Des progrès significatifs ont été réalisés à la fois dans le domaine de la R&D sur les capteurs (fibres optiques, spectromètres, miniaturisation, transmission sans fil). Les efforts doivent être poursuivis, notamment pour permettre le durcissement des capteurs, assurer leur durabilité et leur autonomie mais également pour développer des moyens de fusion des données qui seront acquises au cours de l'exploitation du stockage et d'aide à la décision.

#### *Approche micro-nano des processus*

Certains processus Thermo Hydro Mécanique et Chimique (THMC), notamment ceux se déroulant aux interfaces nécessitent la mise en œuvre d'une approche aux petites échelles pour améliorer leur compréhension. Des travaux devront ainsi être menés pour modéliser et quantifier ces processus. Ces recherches seront notamment conduites dans un projet porté par le programme interdisciplinaire NEEDS.

### **Recherches sur l'entreposage**

Il existe un important retour d'expérience industriel de l'entreposage des colis de déchets HA et MA-VL. Les entrepôts existants disposent de capacités pour accueillir des déchets supplémentaires. Néanmoins, des besoins nouveaux en entreposage apparaissent progressivement avec les opérations de jouvence des installations, les productions futures des déchets, les évolutions en matière de conditionnement. À terme, les besoins évolueront aussi avec la mise en exploitation de Cigéo.

Les études et recherches coordonnées par l'Andra depuis 2006 ont visé à la fois à recenser ces besoins nouveaux et à proposer des réponses techniques. Pour ce faire elles ont exploré les différents volets de la complémentarité entre l'entreposage et le stockage. Il est ainsi apparu que la complémentarité de fonctionnement d'une installation d'entreposage avec le stockage pouvait impliquer une capacité de fonctionner sur des durées jusqu'à la centaine d'années, et celle de pouvoir adapter sa capacité par une approche modulaire.

Les études et recherches se sont intéressées à l'ingénierie des entrepôts et à leur comportement phénoménologique. Des pistes d'amélioration et des options techniques novatrices ont été examinées. Le retour d'expérience industriel d'Areva, du CEA et d'EDF ainsi que les résultats des recherches antérieures (celles du CEA sur l'entreposage de longue durée et celles de l'Andra sur le stockage) ont constitué une base de départ.

La perspective d'une durée d'exploitation sur une centaine d'années conduit à privilégier une facilité de maintenance des équipements et des structures de l'entreposage ainsi qu'une accessibilité aux colis de déchets pour les surveiller en place ou pour les retirer à des fins d'examen. Pour l'entreposage de colis retirés du stockage, le cas échéant, il peut être utile de pouvoir accueillir dans une même installation des colis de types divers sous leur forme primaire ou placés en surconteneur de stockage.

L'Andra a remis au Gouvernement en janvier 2013 un rapport dressant le bilan des études et recherches qu'elle a coordonnées sur l'entreposage [Rapport Andra C.RP.ADPG.13.0001]. Le décret du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du PNGMDR a chargé l'Andra de poursuivre le recueil et la capitalisation du retour d'expérience de la construction et de l'exploitation des installations existantes ou en développement, de continuer les recherches sur le comportement des matériaux utilisés pour la réalisation d'ouvrages d'entreposage et des matériaux de colisage et les techniques de surveillance, en vue d'optimiser la durabilité, l'auscultation, l'évacuation de la chaleur et, si nécessaire, la polyvalence de ces entreposages.

De plus, il a également demandé à l'Andra d'approfondir les concepts d'entreposage liés à la réversibilité en tenant compte notamment de l'état des colis retirés du stockage. L'Andra a ainsi complété ses études d'entreposage en casemate dérivées du concept NUHOMS<sup>©</sup> proposé par Areva, chaque casemate en béton, refroidie par convection naturelle, contenant chacune un canister avec ou sans leur surconteneur.

À partir des résultats de l'ensemble de ses études et de recherches et après consultation d'Areva, du CEA et d'EDF, l'Andra a remis à fin 2014 des recommandations pour la conception d'installations d'entreposage s'inscrivant dans la complémentarité avec le stockage<sup>233</sup>. Ces recommandations portent en particulier sur le choix des matériaux en lien avec la durabilité des entrepôts, les systèmes de surveillance et la conception d'entrepôts en lien avec la réversibilité du stockage.

Dans leur ensemble les études de concepts d'entreposage menées de 2006 à 2014 se sont caractérisées par leur caractère générique vis-à-vis des colis à prendre en compte et du site

---

<sup>233</sup> Le rapport est disponible sur les sites internet de l'ASN et du ministère chargé de l'énergie : <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2013-2015> ;

- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-realises-au-titre-du,43049.html>.

d'implantation. Elles ont permis d'identifier différentes innovations qui pourraient s'appliquer à de futures installations. À ce stade, l'Andra estime qu'approfondir la conception d'ingénierie de futurs entrepôts dans un cadre générique ne devrait plus apporter d'avancées significatives.

La coopération entre Areva et l'Andra sur l'extension de l'entreposage des verres à La Hague (EEVLH) a montré l'intérêt d'actions concertées visant à intégrer les résultats des recherches à des projets industriels d'extension d'installations existantes ou de création de nouvelles installations. Dans le cas particulier d'E-EVLH, un travail important a été réalisé par l'Andra et Areva pour intégrer les avancées des recherches dans la conception de cette installation. Ce travail permet d'envisager une durée de vie accrue de l'installation.

### Perspectives

Concernant l'élaboration des concepts d'entreposage liés à la réversibilité, des études restent à mener sur les modalités de gestion des colis primaires dégradés (notamment de déchets MA-VL, qui auraient été retirés du stockage), en particulier sur le dimensionnement des moyens permettant le reconditionnement de colis primaires dégradés dans les installations de surface de Cigéo.

Concernant les recherches sur les installations d'entreposage à faible profondeur, les éléments techniques qui ont servi de base aux conclusions de l'Andra dans son rapport remis en 2013 doivent faire l'objet de davantage de précisions afin de statuer sur la pertinence de l'abandon définitif de cette option de conception.

## **Poursuite des recherches sur les réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération et le cycle fermé du combustible**

### **Objet et enjeu des recherches**

Les réacteurs à neutrons rapides (RNR) présentent plusieurs atouts en complémentarité des filières existantes de réacteurs à neutrons thermiques (comme les réacteurs à eau pressurisée du parc français actuel) :

- ils peuvent utiliser sans limitation le plutonium produit par les réacteurs à eau ou par eux-mêmes. La France recycle aujourd'hui le plutonium sous forme de MOx, après son extraction du combustible usé à La Hague. Mais le combustible MOx irradié n'est pas retraité : le plutonium qu'il contient ne peut être utilisé efficacement que dans des réacteurs à neutrons rapides ;
- en permettant de valoriser la totalité de l'uranium extrait du sol, ils multiplient par un facteur de l'ordre de la centaine l'énergie que l'on peut extraire d'une masse donnée d'uranium naturel ;
- les RNR ont la capacité, une fois le stock opératoire de plutonium constitué, de se passer totalement d'uranium naturel. Ils peuvent en effet être alimentés avec de l'uranium appauvri, résidu abondant des opérations d'enrichissement et sans valeur marchande actuellement, et présent en grande quantité sur notre sol suite à l'exploitation des réacteurs thermiques ;
- le spectre des neutrons rapides peut permettre de transmuter les actinides mineurs et permet donc d'envisager une éventuelle réduction de l'inventaire de ces radionucléides

dans les déchets et leur radiotoxicité, si cela est souhaité au terme d'une analyse des avantages et inconvénients de l'opération.

Les RNR peuvent ainsi permettre d'envisager une stratégie de cycle fermé permettant de gérer les substances présentes dans les combustibles usés d'un parc de réacteurs à neutrons thermiques comme d'un parc homogène de RNR. Parmi les différents concepts de RNR identifiés, la filière de réacteurs à neutrons rapides à caloporteur sodium (RNR-Na) est la plus mature et bénéficie du plus gros retour d'expérience, c'est pourquoi elle a été retenue par le CEA comme concept de référence sur lequel concentrer les efforts de R&D pour en améliorer la sûreté et l'opérabilité, répondre aux objectifs fixés par la loi de 2006<sup>234</sup>, et développer un prototype de réacteur de 4<sup>ème</sup> génération.

Cette ambition s'est concrétisée avec le lancement du programme ASTRID dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (Convention CEA-État signée en 2010). Le dossier présenté en 2012 par le CEA<sup>235</sup> conformément au jalon fixé dans la loi du 28 juin 2006 sur la gestion durable des matières et déchets nucléaires présente des options technologiques pour le projet ASTRID et la filière RNR-Na.

ASTRID étant destiné à préparer une 4<sup>ème</sup> génération de réacteur à neutrons rapides, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) insiste tout particulièrement dans son courrier du 10 avril 2014 sur « *la nécessité que cette quatrième génération apporte un gain de sûreté significatif par rapport à la troisième génération et qu'ASTRID permette de tester effectivement des options et dispositions de sûreté renforcées* ». En annexe à ce courrier, elle demande également au CEA de préciser, notamment dans son futur DOS (dossier d'options de sûreté), s'il envisage « *la mise en œuvre d'essais de transmutation d'actinides mineurs et d'évaluer l'impact de ces essais sur les objectifs généraux de sûreté* ».

À ce stade, il est prévu qu'ASTRID contribue à la qualification d'assemblages complets de combustibles de transmutation en mode homogène et/ou en mode hétérogène de l'américium, et/ou de combustibles dédiés à la consommation accrue de plutonium. Les programmes menés dans ASTRID devraient ainsi permettre de disposer d'une qualification industrielle suffisante pour construire, si c'est le choix fait à ce moment-là, des réacteurs industriels réalisant la transmutation ou la consommation accrue de plutonium.

Le CEA prévoit de poursuivre les études de conception du prototype ASTRID et des ateliers du cycle associés, avec l'objectif de consolider des avancées significatives en matière de sûreté, de démontrer les options de multi-recyclage du plutonium et de recyclage de l'uranium appauvri, et d'établir les perspectives d'une filière industrielle performante.

La Commission nationale d'évaluation (CNE2) constate dans son rapport de juin 2015 que « *la R&D pour conduire le programme Astrid enregistre des progrès continus* » et recommande à nouveau que « *des moyens suffisants soient alloués pour tenir le calendrier visant à déposer la DAC [Demande d'autorisation de création] en 2019* ». Elle recommande par ailleurs au CEA de :

- « *renforcer la R&D dans les domaines qui doivent fournir les données indispensables pour étayer solidement la demande d'autorisation de création d'Astrid, notamment sur les échangeurs sodium-gaz, sur le couplage du réacteur à des turbines à gaz et sur le contrôle en opération* » ;
- « *poursuivre le renforcement des liens entre les partenaires industriels pour mener à bien ce projet* ».

---

<sup>234</sup> Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

<sup>235</sup> Ce rapport est disponible sur le site internet du CEA : <http://www.cea.fr/energie/rapport-sur-la-gestion-durable-des-matieres-nucl-106009>.

## Le recyclage de l'uranium et du plutonium

Comme décrit dans la partie précédente, les réacteurs à neutrons rapides représentent la composante clé d'une stratégie de **cycle fermé** permettant de gérer efficacement et durablement les matières valorisables présentes dans les combustibles usés, l'uranium et le plutonium (le **multirecyclage du plutonium** permettant une stabilisation du stock de plutonium en recyclant les combustibles MOx usés). Cela ouvre la perspective de systèmes nucléaires soutenables sur le long terme, consommant moins d'uranium naturel et générant des déchets de moindre volume et moins toxiques à long terme.

Le démonstrateur technologique de réacteur à neutrons rapide refroidi au sodium de 4<sup>ème</sup> génération ASTRID est destiné à démontrer à une échelle suffisante (600 MWe) les avancées technologiques identifiées pour porter cette technologie au niveau attendu, notamment dans les domaines de la **sûreté** et de l'**opérabilité**.

Le retour d'expérience de la première décennie d'exploitation d'ASTRID pourrait ensuite permettre le **déploiement progressif**, à un rythme qui dépendra des conditions du marché énergétique et des décisions sur le cycle des matières, de réacteurs de taille industrielle, soit au plus tôt à la fin de la décennie 2040. Areva, EDF et le CEA ont mené une étude conjointe visant à analyser et à évaluer divers « paliers », d'ambition croissante, envisageables pour le déploiement de réacteurs à neutrons rapides de 4<sup>ème</sup> génération dans le parc français.

Ces « paliers », détaillés dans le rapport diffusé par le CEA en juin 2015, sont les suivants :

- Palier A : « Mono-recyclage des combustibles usés en REP » (cycle actuel)
- Palier B : « Recyclage des MOx usés » (stabilisation entreposage MOx usés)
- Palier C : « Stabilisation de l'inventaire global en plutonium par multi-recyclage »
- Palier D : « Indépendance vis-à-vis de l'uranium naturel »

Ce déploiement progressif doit s'accompagner d'un programme de R&D concernant tant le développement des technologies de réacteurs à neutrons rapides que celle des technologies de cycle.

### Les études de déploiement de RNR dans le parc français (étude Areva – EDF – CEA)

Dans son courrier du 10 avril 2014, l'Autorité de sûreté nucléaire indique que « *pour être autorisé, le réacteur ASTRID devra à l'évidence présenter un niveau de sûreté au moins équivalent à celui des réacteurs de type EPR et tenir compte des enseignements tirés de l'accident de Fukushima* ».

Les études d'ASTRID sont conduites sous maîtrise d'ouvrage du CEA depuis 2010 avec un financement provenant de subventions, du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA), sans lequel le programme Astrid n'aurait pas pu démarrer, et de divers financements externes (projets européens du PCRDT, puis H2020). Les partenaires industriels français et à l'international qui participent aux études apportent également une contribution en nature dans la mesure où une partie des études qu'ils conduisent reste à leur charge.

Aujourd'hui, plus de 600 personnes travaillent à la R&D et à l'ingénierie d'ASTRID, une moitié au CEA, le reste au niveau des 14 partenaires industriels.

En termes de planning, les études d'avant-projet ont commencé en 2010. Elles sont organisées en 3 phases :

- La première phase de l'avant-projet sommaire, dite AVP1, a eu pour but d'analyser les options ouvertes, en particulier les plus innovantes, pour faire le choix du design de référence fin 2012. Cette première phase s'est déroulée conformément au planning prévu, et le CEA en a rendu compte devant ses ministères de tutelle fin 2012 ;
- La deuxième phase de l'avant-projet sommaire, dite AVP2, a débuté en janvier 2013. Elle vise à conforter la conception pour disposer, d'ici fin 2015, d'un avant-projet sommaire complet et cohérent ;
- L'avant-projet détaillé est prévu ensuite à partir de 2016, avec une revue fin 2017 permettant d'organiser la suite des études d'avant-projet détaillé et, préparer fin 2019 la prise de décision pour la réalisation des études détaillées puis la construction.

Les années 2016-2017 seront en particulier consacrées à une optimisation technico-économique du réacteur, la continuation des études sur les options techniques innovantes, couplées à un fort contenu de R&D (expérimentations, validation de codes), et des études approfondies sur certains composants pour en augmenter le degré de maturité technologique et diminuer les coûts.

En matière de collaborations de grande ampleur, il faut mentionner depuis 2014 la participation significative du Japon, avec qui des discussions ont débuté pour une contribution significative du gouvernement et des électriciens japonais à la construction d'ASTRID.

### **La R&D sur le cycle du combustible**

Il s'agit d'accompagner le développement du programme ASTRID en développant les technologies de cycle appropriées pour le multirecyclage de l'uranium et du plutonium ; il s'agit essentiellement :

- d'adapter aux combustibles des systèmes de 4<sup>ème</sup> génération à neutrons rapides, les technologies pour le traitement des combustibles usés ou la fabrication des combustibles MOx aujourd'hui mises en œuvre à La Hague et à MELOX ;
- d'améliorer les technologies : il ne s'agit pas là de chercher à améliorer les performances de séparation actuelles mais plutôt de chercher à obtenir ces mêmes performances dans des conditions de sûreté et économiques toujours plus favorables ; l'enjeu d'efficacité économique se trouve encore renforcé dans la perspective de systèmes nucléaires dans lesquels le recyclage serait généralisé et systématisé.

L'éventuelle perspective d'un multi-recyclage de l'uranium et du plutonium dans un parc où seraient progressivement déployés des réacteurs à neutrons rapides appellerait successivement :

- le traitement des combustibles MOX-REP, aujourd'hui entreposés, pour récupérer les matières valorisables (et notamment le plutonium) qu'ils contiennent (des campagnes industrielles, portant sur près de 70 tonnes de MOx usés, ont permis de vérifier la faisabilité de principe de telles opérations) ;
- la fabrication de combustibles MOX-RNR à partir du plutonium récupéré ;
- le traitement (récurrent pour atteindre le multi-recyclage) des combustibles MOX-RNR usés.

L'objectif des recherches menées en la matière concerne donc en premier lieu l'adaptation des technologies à des flux et des concentrations de plutonium élevés et à des caractéristiques (notamment isotopiques) différentes de celles rencontrées dans les expériences antérieures rappelées ci-dessus. Les implications dans le domaine de la gestion de certains risques tels que

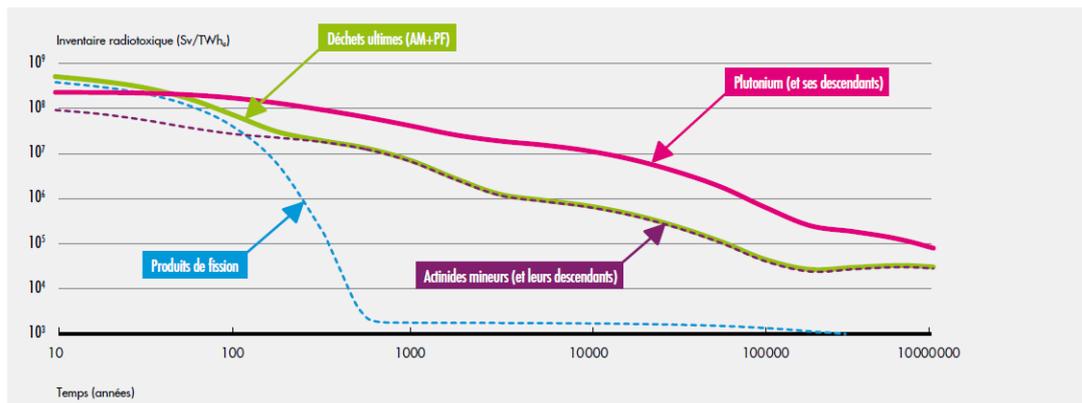
celui de criticité notamment sont à considérer, des dispositifs technologiques spécifiques, présentant des géométries appropriées pouvant s'avérer nécessaires. Certains aspects dans la façon dont les technologies sont opérées doivent être également adaptés (avec notamment des dispositifs de télé-opération adaptés à un vecteur isotopique du plutonium plus contraignant au plan radiologique). Les spécificités des combustibles MOX-RNR induisent également des modifications de certaines étapes du procédé de traitement : c'est le cas de l'opération de dissolution, qui, pour être quantitative, nécessite une adaptation des conditions opératoires usuelles ; l'un des principaux axes des recherches menées en ce domaine concerne la mise au point d'une étape complémentaire de « digestion » des résidus riches en plutonium qui pourraient subsister à l'issue de l'étape de dissolution du combustible. Le concept a fait l'objet d'une démonstration en laboratoire sur des échantillons réels de combustibles MOx usés, et l'on a pu mesurer un accroissement significatif des taux de récupération du plutonium.

Un autre axe de recherche essentiel est de chercher à rendre les opérations plus compactes (en simplifiant les opérations unitaires ou en renforçant leur intégration), toujours plus sûres et générant encore moins d'effluents et de déchets. L'un des principaux programmes de recherches en ce domaine est la mise au point d'un procédé de récupération et de purification de l'uranium et du plutonium dont le principe est drastiquement simplifié : conception de nouvelles architectures moléculaires extractantes (des premières expérimentations ont été menées fin 2014 sur des échantillons réels de combustibles usés) conduisant à des perspectives très encourageantes (possibilité de mener les opérations de récupération et de purification de l'uranium et du plutonium en un seul cycle).

Enfin, une part importante des études dans ce domaine concerne les installations qui seront nécessaires au cycle des matières du démonstrateur Astrid ; les efforts sont à ce stade en premier lieu orientés vers la conception de l'atelier destiné à fabriquer les premiers cœurs d'ASTRID (il s'agit évidemment du besoin le plus urgent, le recyclage des combustibles d'Astrid pouvant intervenir plus d'une dizaine d'années après la divergence du réacteur). Plusieurs options sont encore à l'étude pour cet Atelier de fabrication des cœurs (ou AFC), l'évaluation technico-économique de ces options étant menée en partenariat avec Areva, avec l'objectif d'un choix d'options en 2015 pour disposer d'un avant-projet détaillé à l'horizon 2019.

### **La séparation-transmutation des actinides mineurs**

Les déchets aujourd'hui vitrifiés contiennent les produits de fission et actinides mineurs, résidus des opérations de traitement qui visent à recycler uranium et plutonium. La période radioactive de la plupart des produits de fission est relativement peu élevée, à la différence de celle des actinides mineurs et de leurs produits de filiation. Ainsi, alors qu'ils ne représentent que le millième environ de la masse des combustibles usés, ces actinides mineurs (neptunium, américium, curium essentiellement) sont (eux-mêmes ou par l'intermédiaire de leurs descendants) les principaux contributeurs à la radiotoxicité des déchets ultimes au-delà du siècle (une fois que la plupart des produits de fission se sont transformés en isotopes stables). C'est cela qui a amené à envisager d'éliminer ces éléments, par séparation puis transmutation au sein de RNR (lesquels présentent des caractéristiques favorables à cet égard).



*Contribution des divers composants à la radiotoxicité du combustible usé (Source : CEA)*

L'américium a été identifié comme la première cible d'une stratégie de séparation-transmutation dont l'enjeu serait de réduire la nocivité à long terme des déchets ultimes. L'américium est apparu en effet (à la lumière des résultats rapportés par le CEA fin 2012) comme le principal contributeur à la radioactivité et à la chaleur résiduelle au-delà du siècle des déchets finaux (les déchets vitrifiés) ; la Commission nationale d'évaluation recommande dans son rapport annuel n° 8 que soit maintenue une « recherche active et structurée » en la matière.

Il est important de rappeler que ceci ne prend évidemment son sens que dans la perspective d'un multirecyclage du plutonium (ce dernier constituerait le principal contributeur à la radiotoxicité du résidu, loin devant l'américium, si tel n'était pas le cas – par exemple en cas de stockage direct des MOx usés) ; et de rappeler aussi que les actinides mineurs autres que l'américium ne présentent pas des nuisances potentielles équivalentes à long terme, alors que certains d'entre eux (le curium notamment) présentent des nuisances « immédiates » (radiologiques, thermiques) qui pénaliseraient lourdement toute opération de traitement particulier.

À ce titre, dans son avis n° 2013-AV-0187 du 4 juillet 2013 sur la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, l'ASN avait estimé que « les gains espérés de la transmutation des actinides mineurs en termes de sûreté, de radioprotection et de gestion des déchets n'apparaissent pas déterminants au vu notamment des contraintes induites sur les installations du cycle du combustible, les réacteurs et les transports, qui devraient mettre en œuvre des matières fortement radioactives à toutes les étapes. Ceci serait tout particulièrement le cas en ce qui concerne la transmutation du curium ». Ces termes ont été rappelés, dans son avis du 25 février 2016, où elle ajoute que « la poursuite des études sur la séparation et la transmutation ne peut trouver sa justification dans la sûreté nucléaire ou la radioprotection. »<sup>236</sup>

L'incidence de la transmutation de l'américium sur l'emprise du stockage des déchets de haute activité avait été estimée à une possibilité de réduction d'emprise de plus d'un facteur 7 (en complément de celle que permet déjà le recyclage du plutonium, d'un facteur de l'ordre de 3). Une analyse complémentaire est actuellement menée pour examiner dans quelle mesure (et dans quel sens) l'évolution des concepts de stockage envisagés aujourd'hui (notamment pour tenir compte d'effets thermomécaniques complémentaires au sein de l'ouvrage) pourrait modifier cette évaluation.

<sup>236</sup> Les avis de l'ASN du 4 juillet 2013 (n° 2013-AV-0187) et du 25 février 2016 (n° 2016-AV-0259) sur la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue est disponible sur le site internet de l'ASN : <http://www.asn.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN », « avis de l'ASN ».

Les recherches en séparation ont donc été orientées vers la possibilité de récupération de l'américium en aval de celle de l'uranium et du plutonium.

Un procédé dit « EXAm » (pour Extraction de l'Américium) a été conçu et expérimenté à l'échelle du laboratoire. Ce procédé, rendu complexe par la double séparation que l'on cherche à mener en une seule étape (séparer l'américium des produits de fission et séparer l'américium du curium), a connu de nombreux aménagements, tant pour en améliorer les performances de séparation que pour tenir compte de critères industriels (tels que l'intérêt d'opérer sur des solutions suffisamment concentrées afin de limiter les volumes de solutions et la taille des appareillages nécessaires) ; on a mesuré des taux de récupération de l'américium supérieurs à 99 %, et testé diverses solutions pour améliorer la purification de l'américium vis-à-vis du curium.

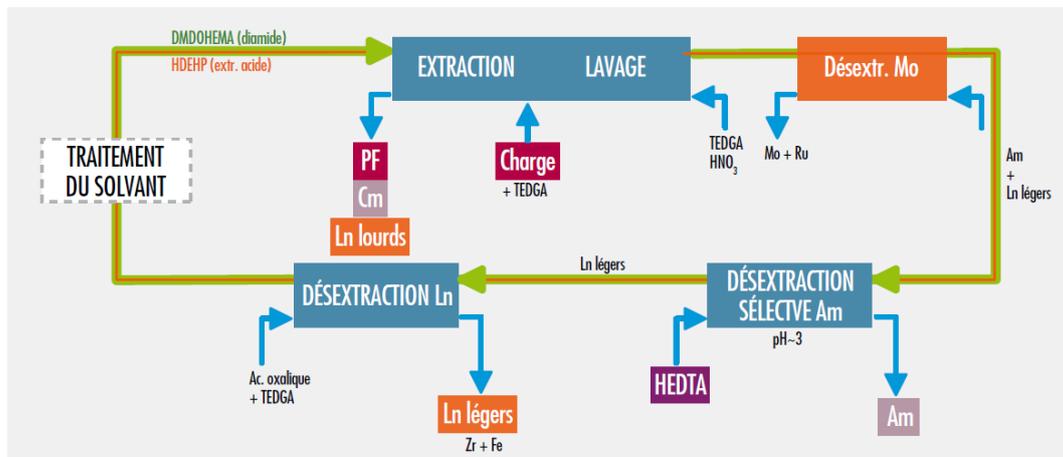


Schéma de principe du procédé EXAm (Source : CEA)

La prochaine étape est la réalisation d'un essai sur échantillons réels de combustible usé du procédé ainsi optimisé : c'est l'expérience dite « intégrale », qui consiste à récupérer l'américium d'un échantillon d'environ 4 kg de combustible usé pour ensuite en réaliser la transmutation dans le réacteur d'essai ATR (Idaho, USA). Les premières étapes (usuelles) de dissolution puis de récupération de l'uranium et du plutonium ont été réalisées. On amorcera à fin 2015 les étapes de récupération de l'américium, puis de fabrication de pastilles d'oxyde pour une mise en pile qui devrait intervenir en 2019.

Les études sur la transmutation s'intéressent en particulier au concept de couvertures chargées en américium (CCAm), qui consiste à opérer la transmutation au sein d'objets spécifiques en périphérie du cœur des RNR (aiguilles d'oxyde d'uranium, chargées à environ 10 % en américium). Cette option présente l'avantage de découpler les opérations de transmutation du fonctionnement du réacteur, ce qui procure certains avantages (notamment en matière de sûreté, l'américium pouvant apporter des pénalités s'il est introduit en quantités significatives dans le cœur), et elle pourrait constituer, dans l'hypothèse où la transmutation serait décidée, une voie de mise en œuvre progressive au sein de certains réacteurs du parc.

Les recherches en ce domaine souffrent toutefois aujourd'hui de la non-disponibilité de RNR pour réaliser des expérimentations pleinement représentatives. Dans ce contexte, on s'attache à étudier, par des irradiations dites « analytiques », en réacteur expérimental, les phénomènes importants qui gouvernent le comportement de telles CCAm en irradiation. L'une des principales

questions concerne le comportement au sein du matériau de l'hélium (généralisé en quantités importantes dans le processus de transmutation de l'isotope 241 de l'américium) : c'est l'objet des irradiations Marios et Diamino, respectivement menées dans les réacteurs HFR (Petten, Pays-Bas) et Osiris (Saclay) visant à couvrir l'ensemble des paramètres opératoires (température notamment) d'une couverture en périphérie de RNR. Les premiers examens sont aujourd'hui menés sur l'expérience Marios (sortie de pile), alors que l'irradiation Diamino se poursuit : les premiers résultats d'ensemble seront disponibles en 2016, avant l'expérimentation prévue dans ATR mentionnée plus haut.

Les recherches s'intéressent également aux procédés d'élaboration de tels objets : les étapes de conversion (élaboration d'oxyde d'américium à partir des solutions issues des étapes de séparation) et de fabrication font l'objet de développements et d'expérimentations dans l'installation Atalante du CEA à Marcoule. Il s'agira d'une part de transposer à l'américium les procédés et technologies aujourd'hui mis en œuvre pour l'élaboration de pastilles d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (précipitation puis calcination de l'oxalate, avant fabrication de pastilles MOx par métallurgie des poudres). On explorera par ailleurs de nouvelles voies, aptes en particulier à minimiser la génération de fines particules induisant des nuisances potentiellement importantes dans le cas de poudres d'américium.

La volonté affichée de développer la disponibilité de matières premières minérales en Europe, par l'exploitation de gisements miniers et le recyclage de produits hors d'usage, conduit à étudier le développement de procédés d'extraction de métaux.

Les études menées dans le cadre de l'axe 1 de la loi de 1991 puis de la loi de 2006, ont permis aux acteurs de la recherche (et notamment au CEA) de développer une compétence élargie dans le développement de procédés innovants en hydrométallurgie (de la molécule aux procédés et aux technologies de mise en œuvre) ; cela s'est traduit au centre du CEA de Marcoule par la création de l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule et du LABEX Chemisyst, l'ensemble pouvant adresser des besoins au-delà du secteur nucléaire.

Ce positionnement a récemment abouti au projet de création d'un Institut Européen d'Hydrométallurgie (IEH), qui fédère :

- Un réseau de recherche associant acteurs de la recherche académiques et industriels du secteur de l'extraction des métaux afin de définir les besoins d'innovation du secteur ; ce réseau a été créé fin 2014 sous forme d'une association à but non lucratif nommée PROMETIA ;
- Une plateforme technologique ouverte permettant la maturation de procédés d'extraction avant leur industrialisation, dont la construction doit démarrer fin 2015.

## **Principales installations de recherche pour les études conduites dans le cadre du PNGMDR**

### **Installations du CEA**

#### Installations pour les études de procédés de traitement

##### **ATALANTE (Marcoule)**

L'installation ATALANTE est un ensemble de laboratoires de haute activité du CEA Marcoule destinés aux études sur le cycle du combustible. Ce laboratoire comporte 7 chaînes blindées et 17 laboratoires avec boîtes à gants dans lesquelles sont menées, les recherches relatives aux procédés de séparation, à la préparation de combustibles ou cibles pour la transmutation, au confinement des déchets ultimes et au comportement à long terme de colis de déchets.

##### **Laboratoire G1 (Marcoule)**

Le Laboratoire G1 comprenant la zone active Chimène et le hall HEC vise à mettre au point des technologies pour la mise en œuvre des procédés de traitement envisagés pour l'aval du cycle du combustible, en complément de la mise au point des procédés menée dans l'installation ATALANTE. Cela concerne notamment les technologies pour le cycle de 4<sup>ème</sup> génération .

#### Installations pour les études de matériaux et combustibles

##### **LECA/STAR (Cadarache)**

Le LECA permet de caractériser le comportement de combustibles irradiés provenant d'échantillons prélevés à partir de crayons combustibles irradiés du parc ou de réacteurs expérimentaux. Ce laboratoire permet de refabriquer les crayons courts destinés aux irradiations expérimentales en réacteur d'essai et intervient en aval du laboratoire STAR, dans lequel sont réalisés les examens non destructifs et le perçage des crayons irradiés entiers issus de centrales nucléaires.

##### **LECI (Saclay)**

Le LECI est un laboratoire principalement dédié à la caractérisation physico-chimique, métallurgique et mécanique des matériaux métalliques irradiés. Il fournit les éléments permettant de prévoir la durée de vie des composants nucléaires, de qualifier des matériaux nouveaux ou améliorés permettant de satisfaire aux conditions d'emploi futures. Ses capacités de caractérisation réduites dans le domaine des combustibles lui permettent d'apporter son soutien au LECA/STAR à Cadarache.

##### **LEFCA (Cadarache)**

Le LEFCA permet de réaliser des études sur l'uranium et sur des actinides (plutonium, américium, neptunium), sous forme d'alliages, de céramiques ou de composites. Ces études sont nécessaires à l'interprétation et à la compréhension du comportement des combustibles en réacteur. Les capsules et les assemblages expérimentaux destinés aux essais d'irradiation sont fabriqués dans ce laboratoire. À noter que les activités de recherche du LEFCA sont en cours de transfert vers l'installation ATALANTE.

### **Labo UO2 (Cadarache)**

Le laboratoire UO2 ou Laboratoire Bernard François dédiée à la recherche sur les combustibles non irradiés. Complémentaire du LEFCA et d'ATLANTE, ce laboratoire permet d'étudier, jusqu'à l'échelle de plusieurs centaines de grammes, des procédés mis en œuvre lors des opérations de fabrication du combustible. Il réalise notamment des études pour la mise en œuvre des procédés et technologies pour les combustibles de 4<sup>ème</sup> génération.

#### Installations pour les études de comportement en réacteur

### **MINERVE (Cadarache)**

MINERVE est un réacteur expérimental destiné aux études neutroniques visant principalement l'amélioration des bibliothèques de données nucléaires intégrales pour des réseaux combustibles représentatifs de différentes filières de réacteurs nucléaires. Cette installation peut être utilisée pour des mesures portant sur certains isotopes d'intérêt, notamment pour les études de transmutation.

### **OSIRIS (Saclay) (définitivement arrêté)**

Ce réacteur expérimental d'une puissance thermique de 70 MW, de type piscine à eau légère et à cœur ouvert a divergé en 1966 puis mis définitivement à l'arrêt le 16 décembre 2015. Cet outil a permis, pendant près de 50 ans, de participer à l'étude des matériaux et combustibles des centrales nucléaires actuelles et futures mais également de produire des radioéléments en vue d'applications médicales et industrielles.

### **Réacteur RJH (Cadarache) (*en construction*)**

RJH (Réacteur Jules Horowitz) est un réacteur expérimental d'irradiations de matériaux en cours de construction sur le site de Cadarache, devant prendre le relais du Réacteur OSIRIS à l'horizon 2021. Ce réacteur, d'une puissance de 100 MW, offrira, une capacité d'irradiations expérimentales permettant d'étudier le comportement des matériaux et combustibles sous irradiation.

#### Installations pour les études sur le conditionnement des déchets finaux

### **Hall CD (Marcoule)**

Le Hall CD mène les études de décontamination et de conditionnement des déchets produits par l'industrie du cycle du combustible et par les réacteurs nucléaires, notamment dans le domaine de la vitrification des solutions de produits de fission (creuset froid, ...), le développement de nouvelles matrices de confinement comme les céramiques, l'incinération des déchets combustibles riches en alpha et le développement de technologies innovantes pour certains types de déchets (résines, déchets organiques, effluents radioactifs d'origine diverses) et le développement des procédés de décontamination des matériaux solides comme les bétons et des effluents.

### **Hall HERA (Marcoule)**

L'installation HERA permet de conduire des recherches sur le conditionnement et l'entreposage de longue durée des déchets de haute activité à vie longue et de réaliser les démonstrations nécessaires à la longue durée (300 ans pour les entreposages). Ainsi, HERA réunit des laboratoires de recherche et développement qui travaillent sur les thématiques de la production

d'hydrogène, la destruction et le conditionnement de déchets, l'assainissement et le démantèlement d'installations anciennes.

### **Le LCV (Laboratoire Commun de Vitrification) du CEA et d'Areva (Marcoule)**

Le LCV est une installation haute activité pilotée conjointement par le CEA DEN/DTCD (Département d'Études du Traitement et du Conditionnement des Déchets) et Areva. Ce laboratoire est dédié au développement de procédés innovants pour la vitrification des déchets radioactifs de haute activité et au conditionnement et traitement des déchets de moyenne et faible activité par des procédés thermiques. Cette installation est également utilisée pour étudier les matrices alternatives de conditionnement comme les céramiques ou les vitrocéramiques.

#### Installations pour la caractérisation de déchets radioactifs

### **CHICADE (Cadarache)**

L'installation CHICADE est une plateforme permettant de réaliser des examens non destructifs pour le développement et la qualification de systèmes de mesures nucléaires, des analyses chimiques et radiochimiques pour la R&D et en soutien aux installations du CEA/Cadarache, des examens destructifs pour la caractérisation, le reconditionnement et la catégorisation de déchets.

### **LARC (Cadarache)**

Le LARC est un laboratoire d'analyses radiochimiques conduisant des analyses radiologiques des émetteurs alpha, beta, gamma et X dosés sur échantillons de faible à moyenne activité par spectrométrie gamma, scintillation liquide et spectrométrie gamma, des analyses chimiques minérales et organiques avec la détermination des éléments majeurs, mettant en œuvre chromatographie ionique, électrophorèse capillaire, spectromètre UV/visible, spectromètre à transformée de Fourier, chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse ainsi que des analyses élémentaires et isotopiques de traces et ultra-traces par spectrométrie de masse et spectrométrie d'émission couplées à une torche plasma mais aussi des techniques d'analyse directe couplée à un spectromètre de masse.

#### Installations pour les études en physico-chimie des radionucléides

### **ICPE-radioactives du DPC (Saclay)**

Les ICPE-radioactives du DPC (Département de Physico-Chimie) visent à couvrir plusieurs champs disciplinaires au bénéfice des programmes de recherche en soutien au nucléaire, allant de la thermodynamique, thermochimie, électrochimie, réactivité des surfaces, corrosion, propriétés de transport aux interfaces, et couplage entre ces domaines. L'objectif est de comprendre, modéliser et prédire le comportement des matériaux et radionucléides (spéciation, migration) à long et très long terme dans leurs environnements, dont celui de l'entreposage et du stockage des colis de déchets.

### **Installations d'Areva**

**HRB (Hall de Recherche de Beaumont)** : essais à échelle laboratoire et pilote en inactif

Sa mission première est d'accompagner les clients dans leur stratégie d'évolution technologique mais également la recherche opérationnelle liée aux projets d'Areva.

La recherche opérationnelle est lancée pour répondre aux problématiques rencontrées sur le terrain, lorsqu'un projet nécessite le développement d'une technologie, d'un procédé ou encore la confirmation d'un choix technique.

### **TRIADE : essais à échelle laboratoire et pilote en inactif**

TRIADE réalise notamment des recherches et optimisations des filières de traitement, déclassement, conditionnement, en fonction des conditions techniques et économiques locales et nationales.

Cet axe est complété par des études et maîtrise de l'innocuité des procédés en fonction de la finalité de la décontamination.

### **Centre technique du Creusot : (échelle technologique en inactif)**

Le Centre Technique du Creusot développe des techniques, méthodes et outils destinés à l'évolution des centrales nucléaires existantes pour en améliorer la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance, ainsi qu'aux centrales de demain.

- Nouveaux produits et services : Solutions qui permettent de réduire les coûts d'exploitation, d'améliorer la disponibilité des centrales et d'en renforcer la fiabilité et la sûreté ;
- Optimisation de fabrications de composants : Réduction des coûts de fabrication de composants, augmentation de la productivité en fabrication, ergonomie des postes de travail et sécurité du personnel, solutions de robotique ;
- Développement de nouveaux réacteurs : Réacteurs de centrales nucléaires de Génération IV, technologies long-terme (ITER, Réacteur de recherche).

### **SEPA : Service d'Études, de Procédés et d'Analyses) (échelle labo, voire pilote, actif U)**

Le SEPA est chargé de définir et mettre en œuvre des procédés innovants et durables, dans le domaine du traitement des minerais, ateliers métallurgiques, laboratoires d'analyses, halls d'essais pilote, bancs tests.

Son objectif est d'améliorer la performance des procédés actuels et en concevoir de nouveaux.

### **Installations d'EDF**

Aucun essai n'est réalisé en actif par EDF et tous les laboratoires sont situés sur le site d'EDF Lab « les Renardières » :

**Laboratoire de Génie Civil** pour l'étude du comportement du coulis de blocage des colis C1PG

**Laboratoire LESCA** pour l'étude de la dissolution des pastilles de B4C en milieu cimentaire (travail réalisé et défini dans le cadre des demandes PNGMDR sur les déchets sodés).

**Laboratoire de Corrosion** pour l'étude du comportement des verres en condition de stockage géologique (étude de l'influence des matériaux d'environnement du stockage).

**Pilote MERCURE** pour réaliser des essais à échelle 1 pour démontrer le respect des colis contenant de résines échangeuses d'ions au cahier des charges fixé par l'Andra (colis à destination du Centre de stockage de l'Aube).

## **Installations de l'Andra**

**Laboratoire souterrain de Bure** pour l'observation et la mesure in situ des propriétés des argiles du Callovo-Oxfordien et la mise au point de techniques d'ingénierie (creusement – soutènement) dans le cadre de la préparation du projet Cigéo.

## **Annexe 5 : Accords intergouvernementaux conclus par la France en matière de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs (accords en vigueur au 31 décembre 2015, énumérés dans l'ordre chronologique)**

### **1 – Japon :**

- a) Accord de coopération entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement du Japon pour l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, signé à Tokyo le 26 février 1972.
- b) Protocole modifiant cet accord de coopération (ensemble trois annexes, un procès-verbal et un échange de lettres), signé à Paris le 9 avril 1990.

### **2 – Suisse :**

Échange de lettres constitutif d'accord entre la France et la Suisse, relatif au relatif aux contrats conclus entre la COGEMA et les sociétés suisses en vue du retraitement par la COGEMA de certaines quantités de combustible irradié en provenance de Suisse, signé le 11 juillet 1978.

### **3 – Pays-Bas :**

- a) Accord sous forme d'échange de lettres entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement du Royaume des Pays-Bas, relatif au traitement en France d'éléments combustibles irradiés, signé à Paris le 29 mai 1979.
- b) Accord modificatif en date du 9 février 2009 publié au *Journal officiel* par décret n° 2010-1167 du 30 septembre 2010.

### **4 – Suède :**

Échange de lettres constitutif d'accord entre la France et la Suède, relatif aux contrats conclus entre la COGEMA et la société suédoise SKBF en vue du retraitement par la COGEMA de certaines quantités de combustible irradié en provenance de Suède, signé le 10 juillet 1979.

### **5 – Espagne :**

Échange de notes constitutif d'accord entre la France et l'Espagne sur les déchets radioactifs provenant de combustibles irradiés produits par la centrale nucléaire de Vandellos I, signé le 27 janvier 1989.

### **6 – Australie :**

Arrangement entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement de l'Australie relatif à la mise en œuvre d'un contrat de retraitement conclu entre COGEMA et l'organisation australienne des sciences et technologies nucléaires (ANSTO), sous forme d'échanges de lettres, signé à Paris le 27 août 1999.

### **7 – Italie :**

Accord entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement de la République italienne portant sur le traitement de 235 tonnes de combustibles nucléaires usés italiens, signé à Lucques le 24 novembre 2006 et publié au *Journal officiel* par décret n° 2007-472 du 7 mai 2007.

**8 – Allemagne :**

Accord sous forme d'échange de lettres entre le Gouvernement de la République française et le gouvernement de la République fédérale d'Allemagne, relatif au transport de la République française vers la République fédérale d'Allemagne de colis de déchets radioactifs provenant du retraitement du combustibles irradiés, signé à Paris les 20 et 28 octobre 2008 et publié au *Journal officiel* par décret n° 2008-1369 du 19 décembre 2008.

**9 – Monaco :**

Accord entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement de la Principauté de Monaco relatif à la prise en charge sur le territoire français de déchets radioactifs monégasques, signé à Paris le 9 novembre 2010 et approuvé par la loi n° 2013-580 du 4 juillet 2013 (promulguée au *Journal officiel* du 6 juillet).

**10 – Pays-Bas :**

Accord entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement du Royaume des Pays-Bas relatif au traitement en France d'éléments combustibles irradiés néerlandais, signé à La Haye le 20 avril 2012 et publié au *Journal officiel* par décret n° 2013-1285 du 27 décembre 2013.

**11 – Belgique :**

Accord entre le gouvernement de la République française et le Gouvernement du Royaume de Belgique, relatif au traitement de combustibles usés belges à La Hague, signé à Paris le 25 avril 2013 et publié au *Journal officiel* par décret n° 2014-835 du 23 juillet 2014.



**Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer**

Direction générale de l'énergie et du climat

Arche Nord – 92 055 La Défense Cedex

Tél. : 01 40 81 21 22

[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

**Autorité de sûreté nucléaire**

15-21 rue Louis Lejeune – 92 120 Montrouge

Tél. : 01 46 16 40 00

[www.asn.fr](http://www.asn.fr)



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE  
DE L'ENVIRONNEMENT,  
DE L'ÉNERGIE  
ET DE LA MER

