

Plan national

de gestion des matières
et des déchets radioactifs

2013 – 2015



Sommaire

Avant propos

Introduction

1 La gestion des matières et déchets radioactifs : principes et objectifs....8

1.1	Présentation des matières et déchets radioactifs.....	8
1.1.1	Définitions	8
1.1.2	Origine des matières et déchets radioactifs	9
1.1.3	Classification usuelle des matières et déchets radioactifs	10
1.1.4	Synthèse de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs	12
1.2	Les principes à prendre en compte pour définir les filières de gestion.....	18
1.2.1	Des modes de gestion adaptés à la nature et la diversité des déchets	18
1.2.2	Les paramètres à prendre en compte dans la définition des modes de gestion.....	20
1.3	Le cadre juridique et institutionnel de la gestion des déchets.....	25
1.3.1	Le cadre législatif européen	25
1.3.2	Le cadre législatif et réglementaire en France	26
1.3.3	Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs	33
1.3.4	Le Comité Directeur pour la gestion de la phase Post-Accidentelle	34
1.3.5	Les acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs.....	36
1.4	La dimension sociétale et la préservation de la mémoire.....	39
1.4.1	La dimension sociétale / Les études en sciences humaines et sociales.....	39
1.4.2	La préservation et la transmission de la mémoire	40
1.5	Le coût et le financement de la gestion des déchets	42
1.5.1	Dispositions législatives et réglementaires sur la sécurisation du financement des charges de long terme.....	42
1.5.2	Modalités de contrôle des exploitants.....	43
1.5.3	Montants des provisions et des actifs dédiés constitués	44

2 Les filières de gestion existantes : bilan et perspectives46

2.1	La gestion des situations historiques.....	46
2.1.1	Contexte et enjeux	46
2.1.2	Les stockages historiques de déchets dans les installations de stockage de déchets conventionnels.....	47
2.1.3	Les stockages historiques des déchets dans ou à proximité d'INB ou d'INBS	48
2.1.4	Les anciens stockages de déchets à radioactivité naturelle renforcée.....	53
2.1.5	Perspectives.....	55
2.2	La gestion des résidus de traitement minier et stériles miniers	57
2.2.1	Contexte et enjeux	58
2.2.2	Gestion des anciens sites d'extraction minière	63
2.2.3	Gestion à long terme des sites de stockages des résidus du traitement du minerai	65
2.2.4	La gestion des stériles miniers	67
2.2.5	Perspectives.....	69

2.3	La gestion des matières radioactives	72
2.3.1	Contexte et enjeux	73
2.3.2	Présentation des modalités actuelles de gestion, appréciation du caractère valorisable des matières et filières de valorisation.....	74
2.3.3	Options de gestion dans le cas où les matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets.....	80
2.3.4	Perspectives.....	83
2.4	La gestion des déchets par décroissance radioactive	85
2.4.1	La gestion des déchets radioactifs dont la période est inférieure à 100 jours	85
2.4.2	La gestion des déchets radioactifs par décroissance avant leur stockage.....	86
2.5	La valorisation des déchets radioactifs	87
2.5.1	Contexte et enjeux	87
2.5.2	Présentation des filières de valorisation existantes et à l'étude.....	88
2.5.3	Perspectives.....	91
2.6	L'incinération des déchets radioactifs	94
2.6.1	Contexte et enjeux	94
2.6.2	Présentation de la filière.....	95
2.6.3	Perspectives.....	96
2.7	Le stockage des déchets TFA.....	97
2.7.1	Contexte et enjeux	97
2.7.2	Présentation des modalités de gestion	98
2.7.3	Le stockage des déchets au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)	99
2.7.4	Perspectives.....	101
2.8	Le stockage des déchets FMA-VC	103
2.8.1	Contexte et enjeux	103
2.8.2	Présentation des modalités de gestion	104
2.8.3	Le stockage des déchets au centre de stockage de l'Aube (CSA).....	105
2.8.4	Perspectives.....	107
2.9	La gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée.....	108
2.9.1	Contexte et enjeux	108
2.9.2	La gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée	109
2.9.3	Perspectives.....	111
3	Les filières de gestion à mettre en place : besoins et perspectives.....	112
3.1	La gestion des déchets nécessitant des travaux spécifiques	112
3.1.1	Le schéma industriel de gestion des déchets des petits producteurs hors électronucléaire.....	112
3.1.2	La gestion des déchets contenant du tritium	113
3.1.3	La gestion des sources scellées usagées	118
3.2	La gestion des déchets FAVL	125
3.2.1	Contexte, enjeux et retour d'expérience	125
3.2.2	L'entreposage des déchets de type FAVL.....	128
3.2.3	Les scénarios de gestion des déchets de type FAVL.....	130
3.2.4	Perspectives.....	133

3.3	La gestion des déchets HA-MAVL.....	136
3.3.1	Contexte et enjeux	137
3.3.2	Le traitement et le conditionnement des déchets.....	140
3.3.3	L'entreposage et le transport des déchets.....	143
3.3.4	Le stockage réversible en couche géologique profonde.....	149
3.3.5	Les recherches sur la séparation-transmutation	155
3.3.6	Perspectives.....	156
3.4	Amélioration de la cohérence globale de la gestion des matières et des déchets radioactifs	161
3.4.1	Optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion.....	161
3.4.2	Gestion des déchets actuellement sans filière.....	164

Conclusion

Glossaire

Annexes :

- Annexe 1 : Etudes sur la préservation de la mémoire
- Annexe 2 : Synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers
- Annexe 3 : Analyse de l'adéquation entre les capacités d'entreposage et les volumes prospectifs de déchets radioactifs
- Annexe 4 : Volet recherche
- Annexe 5 : Concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture
- Annexe 6 : Accords intergouvernementaux conclus par la France en matière de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs (accords en vigueur, 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. Il est en outre essentiel que les charges supportées par les générations futures soient limitées.

Le Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) constitue un outil privilégié pour mettre en œuvre ces principes dans la durée, selon le cadre fixé par la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs. Il vise principalement à dresser un bilan régulier de la politique de gestion de ces substances radioactives, à évaluer les besoins nouveaux et à déterminer les objectifs à atteindre à l'avenir, notamment en termes d'études et de recherches. 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, à la fois les déchets hautement radioactifs et ceux qui le sont moins, voire ceux qui ne sont pas stricto sensu considérés comme radioactifs et ce quelle que soit leur origine. Son bien fondé 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.

Pour cette nouvelle édition du PNGMDR, la troisième depuis 2007, nous avons cherché à prendre en compte tant le retour d'expérience de l'exercice écoulé que les remarques formulées sur la précédente version 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'une 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.

Malgré le cadre de gestion mis en place en France, les déchets radioactifs suscitent encore trop souvent des peurs et réactions disproportionnées. 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 également être au cœur de l'élaboration des politiques publiques.

Par souci de concertation, la DGEC et l'ASN ont ainsi choisi de rédiger à nouveau 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 représentants d'élus et des autorités d'évaluation et de contrôle, aux côtés des producteurs et gestionnaires de déchets radioactifs. 38 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.

A des fins de transparence, et conformément à la 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 le rendre accessible au plus grand nombre de lecteurs.

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, notamment la réalisation puis l'évaluation

des études demandées par le Gouvernement. Si les progrès réalisés sont appréciables, le travail doit cependant continuellement être 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. Il s'agit de progresser toujours plus dans la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, en définissant des solutions de gestion définitives, de long terme, pour l'ensemble de ces substances. Il est de notre responsabilité de ne pas reporter cette charge sur les générations futures.

Pierre-Franck Chevet	Pierre-Marie Abadie
Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)	Directeur de l'Energie (DGEC)

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. A cette fin, il dresse un bilan de la politique de gestion, évalue 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 2010-2012 par l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Techniques¹ (OPECST) salue ainsi le « bilan plutôt positif de la mise en œuvre du dispositif de gestion des déchets nucléaires et du fonctionnement de son groupe de travail ». Il souligne le « dialogue constructif entre l'administration, l'industrie et les associations » qui s'établit dans le cadre des travaux liés au Plan et à son élaboration. Outre les « progrès notables » sur lesquels l'Office insiste dans son rapport d'évaluation, il formule quelques pistes d'amélioration via des recommandations portant sur le contenu du prochain PNGMDR et l'organisation du groupe de travail du PNGMDR. La majorité de ces recommandations rejoignent les axes de travail que la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) et l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN) avaient identifiés à l'issue du retour d'expérience de l'exercice écoulé préalablement à la publication du rapport. Les actions déjà engagées en ce sens ont ainsi été naturellement poursuivies. Elles ont été complétées, lorsque nécessaire, à la lumière de l'avis de l'OPECST.

Le PNGMDR permet au public de disposer d'une vision globale de la gestion des matières et déchets radioactifs, concernant à la fois les sujets d'actualité comme ceux qui le sont moins. 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, recense les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage, précise les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage et, pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif, détermine les objectifs à atteindre". Cet article précise également que "le plan national 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 2013-2015 a été révisé dans sa structure pour regrouper les informations relatives à une même filière et proposer plusieurs niveaux de lecture. Le document est ainsi structuré en trois grandes parties. La première rappelle les principes et les objectifs de la gestion des matières et des déchets radioactifs, en incluant une présentation du cadre juridique et institutionnel. Le bilan et les perspectives d'évolution des filières de gestion existantes sont ensuite dressés. Suivent 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 analyse détaillée de l'adéquation entre capacités d'entreposage et volumes prospectifs de déchets radioactifs ; 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.

¹ « Déchets nucléaires, se méfier du paradoxe de la tranquillité – évaluation du PNGMDR 2010-2012 ».

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

1.1 Présentation des matières et déchets radioactifs

Parmi les substances radioactives, les unes sont des matières, lorsque leur utilisation ultérieure est prévue ou envisagée (il s'agit principalement de combustibles en cours d'utilisation ou usés, d'uranium naturel, enrichi, appauvri ou de retraitement, de plutonium et de thorium), les autres sont des déchets. Les matières et déchets radioactifs produits depuis le début du 20^{ème} 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.

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 (MAVL) ;
- les déchets de faible activité à vie longue (FAVL) ;
- 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 et éliminés dans les filières conventionnelles.

Un Inventaire national de ces matières et des déchets radioactifs est établi tous les trois ans par l'Andra. L'édition 2012 recense les matières et les déchets existants fin 2010 et présente les prévisions à fin 2020 et fin 2030.

1.1.1 Définitions

Le code de l'environnement (art L.542-1-1) dispose :

- qu' « une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection » ;
- qu' « une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement ». Dans le cadre du processus de production d'électricité, par exemple, le combustible usé contient encore des matières qui peuvent être utilisées. Ces matières sont traitées en France pour en extraire le plutonium et l'uranium ;
- que « les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée » ;
- que « les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux ».

Il n'existe pas, en France, de seuil d'activité ou de concentration unique par radionucléide, qui permettrait de déterminer si un contrôle de radioprotection est justifié.

En application de la directive 96/29/Euratom du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants, la majorité des pays retient une approche basée sur la 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), soit universels (quels que soient le matériau, son origine et sa destination), soit dépendant du matériau, de son origine et de sa destination.

En France, pour les activités nucléaires relevant du régime des installations nucléaires de base (INB) et des installations nucléaires de base secrètes (INBS) ainsi que pour les activités nucléaires autorisées ou déclarées au titre de l'article L.1333-4 du code de la santé publique visées à l'article R.1333-12 du même code, à titre conservatoire, tout déchet contaminé, activé ou susceptible de l'être doit faire l'objet d'une gestion spécifique et renforcée qui inclut notamment le stockage des déchets ultimes dans un centre dédié² aux déchets radioactifs. La réglementation française ne prévoit pas de libération des déchets de très faible activité.

Pour les autres activités nucléaires, la justification ou non d'un contrôle de radioprotection est appréciée conformément aux dispositions prévues par le code de la santé publique en tenant compte des trois principes fondamentaux de radioprotection : la justification, l'optimisation et la limitation des doses de rayonnement, et du fait que la somme des doses efficaces dues aux activités nucléaires reçues par toute personne du public ne doit pas dépasser 1 mSv par an³. Ainsi, lorsqu'il peut être démontré par une étude d'acceptabilité relative à l'impact radiologique associé à leur prise en charge qu'un contrôle de radioprotection n'est pas justifié, le déchet peut, sous certaines conditions, être accepté dans des installations de stockage conventionnelles. C'est notamment le cas pour les déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée dont les conditions de gestion sont décrites dans le chapitre 2.9 du présent rapport.

1.1.2 Origine des matières et déchets radioactifs

Les substances radioactives peuvent avoir une origine naturelle ou être la conséquence d'activités humaines, sans que la frontière entre ces deux origines soit simple à définir. Par exemple, dans le cas de la radioactivité naturelle renforcée, certains matériaux naturels peuvent être utilisés par l'homme selon des modalités telles qu'elles donnent lieu à une concentration de la radioactivité, 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... Ces radionucléides naturels présents 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'origine naturelle 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 250 mSv/an dans certaines parties de l'Inde ou du Brésil).

En outre, depuis le début du XX^{ème} siècle, les activités humaines manipulant des substances radioactives ont produit des matières et déchets radioactifs, qui proviennent de cinq principaux secteurs économiques :

- le **secteur électronucléaire** qui comprend principalement les centrales nucléaires de production d'électricité, 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) ;

² A l'exception des déchets gérés par décroissance radioactive en application de la décision n°2008-DC-0095 de l'ASN homologuée par arrêté du 23 juillet 2008.

³ 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, de la recherche et de la Défense (cf. partie 1.1.4 concernant l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs).

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, pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, et d'autre part, les déchets radioactifs pour lesquels aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.

Les matières radioactives ne font pas l'objet d'une classification particulière. Il s'agit 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'autres industries que l'industrie électronucléaire (principalement des matières contenant du thorium).

Concernant les déchets radioactifs, la classification française usuelle repose sur deux paramètres importants pour définir le mode de gestion approprié : le niveau d'activité des éléments radioactifs contenus et leur période. On distingue en particulier, les déchets contenant majoritairement des radionucléides dont la période est inférieure à 31 ans (déchets dits « à vie courte – VC ») des déchets contenant majoritairement des radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans (déchets dits « à vie longue – VL »).

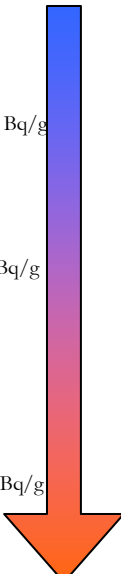
Cette classification comprend les principales catégories suivantes :

- **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 Bq par gramme ;
- **les déchets de moyenne activité à vie longue** (MAVL), également principalement issus des combustibles usés après traitement et des activités d'exploitation 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...) 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 par gramme ;
- **les déchets de faible activité à vie longue** (FAVL), essentiellement des déchets de graphite et des déchets radifères. Les déchets de graphite proviennent principalement 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 par gramme. 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 par gramme. 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 Comurhex située à Malvési ... ;

- **les déchets de faible activité et moyenne activité à vie courte** (FMA-VC), essentiellement issus de l'exploitation, 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 par gramme ;
- **les déchets de très faible activité** (TFA), majoritairement issus de l'exploitation, 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 par gramme ;
- **les déchets à vie très courte**, 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 ≤ 31 ans	Déchets dits à vie longue qui contiennent une quantité importante de radionucléides de période > 31 ans
 ~Centaines Bq/g	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive	Recyclage ou stockage dédié en surface (centre de stockage des déchets de très faible activité de l'Aube)	
	Faible Activité (FA)		Stockage de surface (centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité de l'Aube) sauf certains déchets tritiés et certaines sources scellées	Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 codifiée
	Moyenne Activité (MA)			Filière en projet dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 codifiée
	Haute Activité (HA)	Non applicable ⁴		
~Millions Bq/g				
~Milliards Bq/g				

Principes de classification des déchets radioactifs

⁴ 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 classe 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 une gamme de radioactivité massique indiquée ci-dessus ;
- 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, par exemple).

1.1.4 Synthèse de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs

Conformément aux dispositions législatives et réglementaires détaillées dans la partie 1.3.1, 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).

L'édition 2012 de l'Inventaire national détaille les stocks de déchets radioactifs entreposés ou stockés à fin 2010, leur localisation et leur répartition par catégorie, secteur économique et détenteur. 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 deux scénarios énergétiques volontairement contrastés. Cet Inventaire recense également les stocks et prévisions de matières radioactives. Cette édition de l'Inventaire comprend en outre des informations sur les stockages historiques *in situ*, les sites pollués, les déchets radioactifs immergés entre 1967 et 1982, la gestion des sources radioactives usagées et les déchets à radioactivité naturelle renforcée.

Une synthèse des données de cet Inventaire national est présentée ci-après. **Sur la base des déclarations annuelles des producteurs, l'Andra présentera lors d'une réunion du GT PNGMDR une actualisation des quantités de déchets stockés ou entreposés.**

Les déchets radioactifs

Le tableau ci-dessous récapitule les stocks à fin 2010 et les prévisions à fin 2020 et fin 2030 de déchets radioactifs pour chaque catégorie. Les prévisions prises en compte pour ces bilans reposent sur l'estimation des déchets produits aux dates considérées par les installations en exploitation ou dont la création a été autorisée, 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 COMURHEX de Malvesi dont la filière de gestion à long terme est en cours d'étude, ni des déchets ayant fait l'objet de modes de gestion « historiques » tels que :

- les résidus de traitement de minerais d'uranium qui sont stockés sur certains anciens sites miniers. L'Inventaire national recense 20 sites sur lesquels sont entreposés sur place et de façon définitive ces résidus ;
- les déchets en « stockage *in situ* » qui ont été stockés par le passé à proximité d'installations nucléaires ou d'usines. Ce sont le plus souvent des buttes, des remblais ou des lagunes ;
- 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 m³ équivalent conditionné (volume du déchet une fois celui-ci conditionné en colis primaire). Dans ce tableau de synthèse, les chiffres sont arrondis à la centaine de m³ pour les déchets HA et pour les déchets sans filière, au millier de m³ pour les déchets MA-VL et FA-VL et à la dizaine de milliers de m³ pour les autres déchets.

(En m ³ équivalent conditionné)	Déchets existants à fin 2010	Prévisions à fin 2020	Prévisions à fin 2030
HA	2 700	4 000	5 300
MA-VL	40 000	45 000	49 000
FA-VL	87 000	89 000	133 000
FMA-VC	830 000	1 000 000	1 200 000
TFA	360 000	762 000	1 300 000
Déchets sans filière	3 600		
Total général	~1 320 000	~1 900 000	~2 700 000

Déchets radioactifs : stocks à fin 2010 et prévisions à fin 2020 et fin 2030 pour chaque catégorie

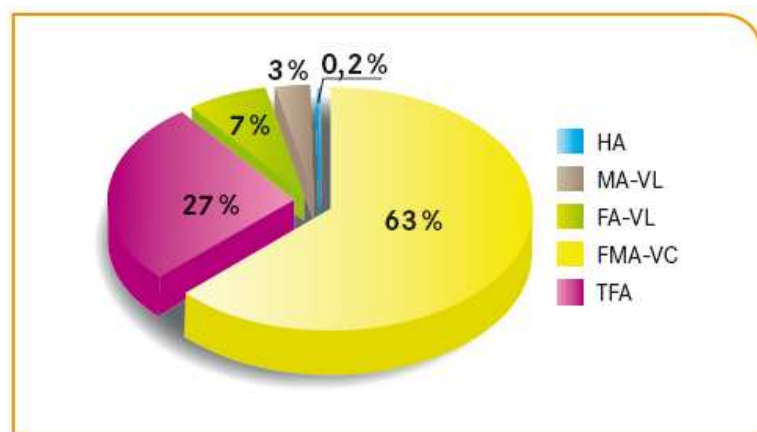
A fin 2010, 3 600 m³ de déchets radioactifs ne disposent pas de filière de gestion (existante ou en projet), soit parce qu'ils ne sont pas suffisamment caractérisés, soit parce qu'ils se présentent sous une forme chimique ou physique qui ne permet pas de les associer directement à une filière de gestion existante ou en projet. Des études sont en cours pour identifier des filières pour ces déchets. Par ailleurs, les stocks à fin 2010 et les prévisions à fin 2020 et 2030 des déchets de l'usine COMURHEX de Malvési dont le mode de gestion à long terme reste à définir, sont les suivants :

(En m ³ de déchets bruts)	Déchets existants à fin 2010	Prévisions à fin 2020	Prévisions à fin 2030
RTCU*	600 000	635 000	688 000

Stocks à fin 2010 et prévisions à fin 2020 et 2030 des déchets de l'usine COMURHEX de Malvési

* RTCU : Résidus de Traitement de Conversion de l'Uranium

La répartition du volume de déchets radioactifs à fin 2010 par catégorie (hors déchets « historiques » et déchets déjà produits de l'usine COMURHEX de Malvési) est indiquée ci dessous :



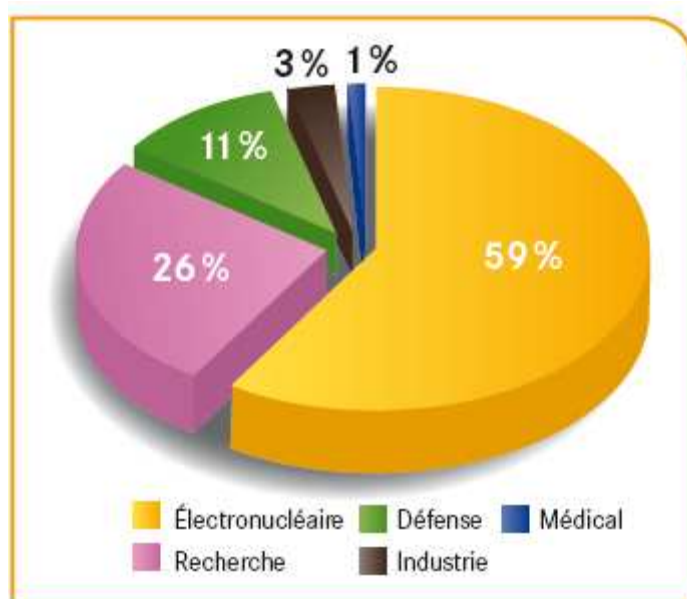
Volumes de déchets radioactifs à fin 2010 par catégorie

Les déchets de haute activité, s'ils ne représentent que 0,2% du volume total comme indiqué sur la figure ci-dessus, concentrent toutefois 95% de la radioactivité :

Catégorie	α (TBq)	β/γ vie courte (TBq)	β/γ vie longue (TBq)	Activité totale (TBq)
HA	3 000 000	102 000 000	300 000	~105 000 000
MA-VL	30 000	3 800 000	1 000 000	~4 800 000
FA-VL	300	8 000	4 000	~12 000
FMA-VC (y compris T-FMA-VC)	800	19 000	7 000	~27 000
TFA	2	2	1	5
RTCU	100*	-	-	100*

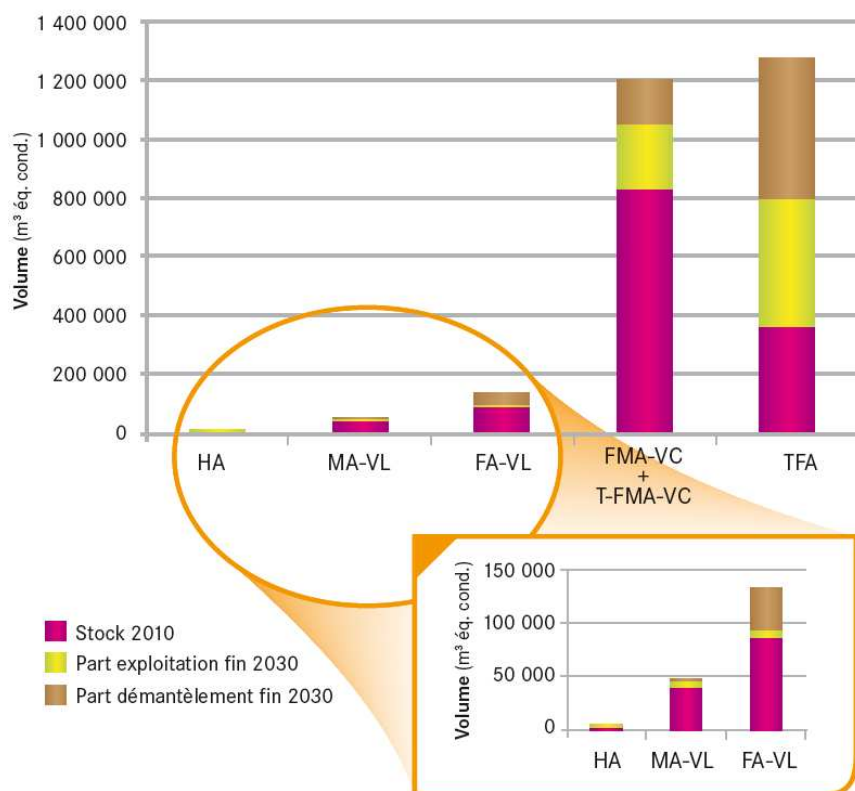
Déchets radioactifs : type et niveau de radioactivité pour chaque catégorie
(RTCU : Résidus de Traitement de Conversion de l'Uranium de COMURHEX de Malvési, * activité déclarée)

Les déchets radioactifs sont issus de cinq secteurs économiques : l'électronucléaire, la recherche, la Défense, l'industrie hors électronucléaire et le médical. La contribution respective de chacun de ces secteurs aux stocks de déchets à fin 2010 (hors déchets « historiques » et déchets déjà produits de l'usine COMURHEX de Malvési) est donnée à la figure suivante. Concernant le secteur de la recherche, à l'origine de 26 % des volumes des déchets, 95% des volumes sont issus du secteur de la recherche du CEA et 5% des autres organismes de recherche (CNRS, universités...).



Répartition en volume des déchets à fin 2010 par secteur économique

Le graphique ci-après présente les quantités prévisionnelles de déchets produits à fin 2030 en fonction des catégories en distinguant les quantités de déchets issus du démantèlement. La majorité des déchets radioactifs issus des opérations de démantèlement sont de catégorie TFA, et dans une moindre mesure de catégorie FMA-VC. Le démantèlement des réacteurs de première génération de type uranium naturel-graphite gaz produit des déchets de type FAVL.



Quantités prévisionnelles de déchets produits à fin 2030 en fonction des catégories

Les matières radioactives

Le tableau ci-dessous présente les quantités de matières radioactives déclarées à fin 2010 ainsi que les prévisions à fin 2020 et fin 2030.

Matière	2010	2020	2030
Uranium naturel (tML)*	15 913	25 013	28 013
Uranium enrichi (tML)	2 954	2 344	2 764
Uranium appauvri (tML)	271 481	345 275	454 275
Uranium de traitement (tML)	24 100	40 020	40 020
Combustibles en cours d'utilisation (tML)	4 932	5 120	4 320
Combustibles usés (tML)	13 929	15 251	18 362
Plutonium	80	55	53
Thorium (t)	9 407	9 334	9 224
MES (t)	23 454	0	0

Matières radioactives : quantités déclarées à fin 2010 et prévisions à fin 2020 et fin 2030.

MES : Matières en suspension, sous-produits du traitement des terres rares contenant du thorium

**tML : tonne de métal lourd⁵*

⁵ tML : tonne d'uranium ou de plutonium contenu dans le combustible avant irradiation.

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. Ceci ne saurait 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 2010, bien que le « scénario de poursuite » sous-entende la mise en service de nouvelles installations.

Scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire

Ce scénario envisage la poursuite de la production d'électricité d'origine nucléaire ainsi que de la stratégie actuelle en matière de traitement de combustible usé. Il considère une durée de fonctionnement de 50 ans pour l'ensemble des réacteurs. La totalité des combustibles consommés par les réacteurs autorisés à fin 2010 est ainsi supposée être traitée pour séparer les matières (uranium, plutonium) des déchets ultimes. Aucun combustible usé n'est alors stocké directement et la totalité du plutonium extrait des combustibles usés est supposée recyclée, dans le parc actuel ou dans un futur parc. Compte-tenu du nombre de réacteurs aujourd'hui autorisés à utiliser du combustible MOX (22 réacteurs à fin 2012), 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. Il resterait alors à traiter 30 000 tonnes de combustibles usés REP. Dans l'hypothèse d'un échelonnement de ces opérations sur 40 ans, ceci représenterait un flux annuel moyen de traitement de 700 à 1000 tonnes de combustible UOX et MOX, et donc un flux annuel de l'ordre de 10 à 13 tonnes de plutonium.

Scénario 2 : non renouvellement du parc électronucléaire

Ce scénario suppose le non-renouvellement du parc existant entraînant l'arrêt du traitement du combustible usé avant l'arrêt des réacteurs afin de ne pas produire de plutonium séparé. La durée de fonctionnement des réacteurs est supposée être de 40 ans.

Dans ce scénario, 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. Au vu des dates d'arrêt de ces réacteurs, leur fonctionnement ne nécessite plus de séparer le plutonium par traitement des combustibles usés au-delà de 2019.

Dans ce scénario, environ 28 000 tonnes de combustibles usés, UOx, MOX et combustibles issus de réacteurs de type à neutrons rapides 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.

Scénario de poursuite de la production électronucléaire : estimation des déchets en m³ équivalent conditionné

Catégorie	Poursuite de la production électronucléaire
HA	10 000
MA-VL	70 000
FA-VL	165 000
FMA-VC	1 600 000
TFA	2 000 000

Scénario de non-renouvellement de la production électronucléaire : estimation des déchets en m³ équivalent conditionné

Catégorie	Non-renouvellement de la production électronucléaire
HA	CU UOX ~ 50 000 assemblages*
	CU RNR ~ 1 000 assemblages*
	CU MOX ~ 6 000 assemblages*
	Déchets vitrifiés 3 500
MA-VL	59 000
FA-VL	165 000
FMA-VC	1 500 000
TFA	1 900 000

Estimation des déchets produits dans les scénarios de poursuite et de non renouvellement envisagés.

** le volume non conditionné d'un assemblage est d'environ 0,2 m³.*

Les combustibles usés ne sont pas aujourd'hui considérés comme des déchets 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 m³, ces assemblages non conditionnés représentent un volume de 12 000 m³. L'Andra a vérifié la faisabilité du stockage des combustibles usés en 2005. Les concepts de conteneurs de stockage utilisés pour cette démonstration induisaient un volume de colis de stockage d'environ 89 000 m³ (environ 8 fois plus que le volume non conditionné).

Gestion de l'uranium de retraitement

Dans les deux scénarios, le traitement du combustible usé est aussi à l'origine de la production d'uranium de retraitement, matière valorisable. Avec l'hypothèse d'un maintien du niveau de recyclage actuel (dans les 4 réacteurs de Cruas jusqu'à leur fin de vie), il resterait dans le scénario de poursuite, 40 000 tonnes d'uranium de retraitement en stock à la fin de vie du parc existant, et 10 000 tonnes dans le scénario de non renouvellement. Dans ce dernier cas, s'il ne pouvait être réutilisé dans des réacteurs hors de France, l'uranium de retraitement deviendrait un déchet avec l'arrêt du nucléaire. Toutefois, la résorption totale de ce stock de matière est techniquement possible dans les deux scénarios : elle suppose la fabrication de combustibles à base de cet uranium de retraitement qui pourraient, sous réserve des autorisations administratives correspondantes, être consommés dans tout ou partie des réacteurs existants ou futurs, de façon comparable au recyclage actuellement pratiqué à Cruas.

1.2 Les principes à prendre en compte pour définir les filières de gestion

La classification usuelle des déchets, 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 ou la présence de substances chimiques toxiques, ainsi que l'attractivité (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 généraux fixés au livre V, titre IV, chapitre I du code de l'environnement et notamment de la nécessité de réduire le volume et la nocivité des déchets radioactifs ultimes. De plus, l'optimisation des opérations de traitement des déchets ainsi que l'optimisation de la dosimétrie des salariés et la réduction de l'impact sur les populations doivent être recherchés.

La gestion des déchets radioactifs s'inscrit dans le cadre général défini au livre V, titre IV, chapitre I du code de l'environnement. En particulier, les déchets radioactifs doivent être gérés, autant que raisonnablement possible, dans l'objectif :

- de prévenir et de réduire à la source la production et la nocivité des déchets ;
- de mettre en œuvre une hiérarchie des modes de traitement en privilégiant : la préparation en vue de la réutilisation ; le recyclage ; la valorisation ; l'élimination ;
- d'assurer la gestion des déchets sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement ;
- de limiter le transport des déchets en volume et en distance ;
- d'assurer l'information du public sur les effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et de gestion des déchets.

Afin de définir des solutions de gestion à long terme pour les déchets radioactifs, il est important de prendre en compte le principe de proportionnalité vis-à-vis du risque et de l'impact, et d'optimisation entre les coûts (financiers, humains, etc.) et les bénéfices attendus de la mise en place d'une solution de gestion précise. Ce principe est difficile à appliquer simplement, notamment parce qu'il exige de considérer des coûts et des bénéfices sur différentes périodes temporelles parfois très éloignées dans le futur.

1.2.1 Des modes de gestion adaptés à la nature et la diversité des déchets

La classification des déchets radioactifs présentée au § 1.1.3 identifie en fonction de la nature du déchet (activité et période) la solution de gestion retenue ou envisagée.

Cette classification conduit dans la pratique à distinguer les déchets très faiblement actifs (TFA), les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC), les déchets de faible activité à vie longue (FAVL) et enfin les déchets de haute activité ou de moyenne activité à vie longue (HMAVL). Les déchets TFA présentent une radiotoxicité très faible ; ils présentent rarement un risque sanitaire immédiat à leur contact. Les déchets de plus forte activité, peuvent induire à leur contact, par inhalation ou par ingestion de faibles quantités, la dose annuelle maximale admissible pour le public en peu de temps, ce qui nécessite de prendre des mesures en termes de confinement et d'éloignement des déchets et des précautions de manipulation. Ainsi, les déchets de faible et moyenne activité à vie courte sont gérés dans des centres de stockage en surface permettant de maintenir les déchets à l'abri des agressions, notamment de la circulation d'eau,

pendant une phase dite de surveillance, fixée conventionnellement à 300 ans. Les rapports de sûreté des 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 ne soient pas inacceptables même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation. Concernant les déchets de faible activité à vie longue, les concepts de stockage doivent permettre d'assurer le confinement efficace pendant une durée de quelques dizaines de milliers d'années permettant la décroissance de la majorité des substances radioactives contenues dans les déchets relevant de cette catégorie. Au terme de cette durée, l'activité contenue dans les déchets devrait avoir atteint un niveau résiduel tel que les expositions de l'homme et de l'environnement ne soient pas inacceptables même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation. Pour les déchets radioactifs ultimes de haute activité et moyenne activité à vie longue issus du parc actuel (produits de fission et actinides mineurs vitrifiés notamment), il s'est établi un consensus des experts au niveau international pour considérer que le stockage en couche géologique profonde constitue la solution de gestion sûre et pérenne de référence. Ceci figure également dans la directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 relative à la gestion responsable et sûre des combustibles usés et des déchets radioactifs qui considère *« 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 »*. En France, le code de l'environnement retient le stockage en couche géologique profonde 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. La loi du 28 juin 2006 demande la mise en service d'un centre de stockage réversible en couche géologique profonde en 2025. Les recherches menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 et de la loi du 28 juin 2006 codifiées ont permis d'acquérir sur le site de Bure, des résultats majeurs relatifs à la faisabilité et à la sûreté d'un stockage.

La classification ne rend pas compte de certains degrés de complexité. Par exemple, les déchets d'exploitation de l'industrie nucléaire, même 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 TFA 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 comme le niobium utilisé en alliage avec le zirconium pour les enveloppes de barre de combustible). En conséquence, la catégorie de déchet n'est pas obligatoirement assimilée à sa filière de gestion.

En outre, l'identification des filières de gestion pertinentes suppose de prendre en compte d'autres critères : éventuelle nécessité d'un entreposage (solution de gestion provisoire retenue pour les déchets en attente de traitement et les déchets radioactifs ultimes non acceptables dans les centres existants ou relevant d'une filière à l'étude) ; gestions retenues par le passé pour certaines catégories de déchets dont les exigences réglementaires auxquelles elles sont conformées ont sensiblement évolué depuis mais pour lesquelles il n'est pas toujours pertinent d'envisager la reprise des déchets pour les gérer dans des filières existantes ou à l'étude. Par ailleurs, certaines catégories de déchets nécessitent la prise en compte de paramètres qui leur sont particuliers. C'est le cas des sources scellées usagées, qui, compte tenu de leur spécificité (attractivité, taille, ...) nécessitent pour leur gestion d'intégrer d'autres paramètres que les seuls critères d'activité et de durée de vie (le détail des modalités proposées pour leur gestion est présenté dans le chapitre 3.1).

Une gestion spécifique doit également être définie pour les objets historiques contenant de la radioactivité détenus par des particuliers ou de petites collectivités (kits éducatifs, objets au radium, paratonnerres...), ce parfois à leur insu. L'Andra, dans le cadre de ses missions fixées à

l'article L.542-12 du code de l'environnement, met à disposition du public des informations relatives à la gestion des déchets radioactifs et notamment des éléments permettant d'identifier les objets contenant de la radioactivité. Elle assure également la prise en charge de ces déchets. Une subvention publique permet la prise en charge gratuite ou significativement aidée des objets radioactifs sous certaines conditions. Les services de l'Andra gèrent les demandes suivant deux critères : la qualité du détenteur et la nature ces objets. La gratuité est en particulier réservée aux particuliers, aux services de sécurité publique (pompiers, gendarmerie...), aux communes rurales et aux établissements scolaires. Au-dessus d'un certain montant, qui correspond à un stock de plusieurs objets, l'aide est décidée au cas par cas par la Commission nationale des aides dans le domaine radioactif, la CNAR⁶.

L'objectif du PNGMDR étant notamment de travailler à l'identification et la mise en œuvre de filières de gestion pour l'ensemble des déchets produits, la classification actuelle offre ainsi, pour la grande majorité des déchets radioactifs produits, une lecture simple pour l'orientation des différents déchets et l'identification des filières disponibles même si elle ne permet pas de disposer d'une vision exhaustive de l'ensemble des filières de gestion.

1.2.2 Les paramètres à prendre en compte dans la définition des modes de gestion

Lors de la définition d'un mode de gestion des déchets, plusieurs critères doivent être pris en compte, dont les principaux sont les suivants.

Réduction du volume et de la nocivité des déchets destinés au stockage :

La capacité de stockage des centres de stockages de déchets radioactifs est une ressource rare, qu'il convient de préserver en ne destinant au stockage que les déchets ultimes. La politique en vigueur en matière de gestion des déchets, prévoit l'élaboration par les producteurs de déchets relevant du régime INB ou d'une activité nucléaire visée à l'article L.1333-4 du code de la santé publique, d'une étude dite « étude déchets » qui intègre cet objectif. Cette étude doit contenir un zonage déchets distinguant les zones à déchets nucléaires⁷ dans lesquelles sont produits les déchets contaminés, activés ou susceptibles de l'être, des zones à déchets conventionnels. Ce zonage doit permettre *in fine* une moindre production de déchets. Cela suppose toutefois que la réduction de l'entrée de matières et de matériels en zone à déchets nucléaires soit suffisamment étudiée en amont pour permettre la réduction de la quantité de déchets produits.

La gestion des déchets radioactifs doit donc débiter pour l'ensemble des activités générant des déchets radioactifs, par certaines mesures prises à la source, sur le site même du producteur de déchets. Les opérations de tri constituent la première étape de réduction du volume des déchets produits. Elles permettent de séparer les déchets selon leurs caractéristiques, notamment la période radioactive des radionucléides qu'ils contiennent. Le tri précède les opérations de traitement avant le conditionnement des déchets. Les techniques de traitement varient en fonction de la nature des déchets qui pourront être compactés, fondus (déchets radioactifs solides) ou incinérés. La technique d'incinération est développée dans le chapitre 2.5 du présent Plan.

Une réflexion sur les matériaux introduits dans les déchets est également utile. Par exemple, elle peut permettre de limiter l'introduction de déchets organiques (telles que des poches en vinyle pour le conditionnement) acceptés en quantité très limitée sur les centres de stockage.

⁶ La CNAR est présidée par la directrice générale de l'Andra et comprend des représentants des ministères de tutelle (DGEC, DGPR, DGS), de l'ASN, de l'IRSN, de l'Association des maires de France, d'associations de défense de l'environnement et, des personnalités qualifiées.

⁷ A partir du 1^{er} juillet 2013, ces zones s'intituleront « zone à production possible de déchets nucléaires » dans les INB conformément aux dispositions de l'arrêté au 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB.

Un autre axe de progrès concourant à la réduction du volume des déchets à stocker consiste à valoriser une part des déchets produits. Des initiatives ont été prises ou sont envisagées par certains exploitants pour les métaux et gravats TFA. Elles sont évoquées au chapitre 2.6. du présent rapport.

Optimisation de la gestion des opérations de traitement des déchets

L'exploitation des installations nucléaires doit être conduite dans l'objectif de concentrer et de confiner la radioactivité dans les déchets solides en limitant, dans des conditions technique et économique acceptables, leur volume et leur toxicité.

Les exploitants doivent prendre toute disposition, dès la phase de conception, pour limiter les rejets de l'installation. Ainsi les procédés mis en œuvre font l'objet d'études d'optimisation, lors de l'ensemble des phases de vie des installations (conception, exploitation et démantèlement) visant à minimiser leurs impacts sur l'environnement.

Il existe une limite en dessous de laquelle les radionucléides ou autres substances chimiques dans les effluents ne peuvent plus être récupérés dans des conditions technico-économiques acceptables. Ce point de fonctionnement, 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 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.

Les rejets autorisés des installations nucléaires respectent des limites telles que l'exposition en résultant reste inférieure aux expositions naturelles pour les populations et l'environnement. Lorsque c'est techniquement possible, les rejets continuent d'être diminués au regard des meilleures techniques disponibles et de leurs performances environnementales associées, ce qui constitue une exigence réglementaire du code de l'environnement.

Ces actions 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 radioactives 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.

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). Ainsi, dans ces cadres réglementaires, les rejets font l'objet de prescriptions, fixées par décision de l'ASN pour les INB (la décision fixant les limites de rejets est homologuée par arrêté ministériel) ou par arrêté

ministériel pour les INBS ou encore 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. 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.

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. A ce titre, le présent plan porte sur les déchets et la gestion des matières radioactives et ne couvre pas les rejets d'effluents.

Conformément aux recommandations de l'OPE CST, le présent Plan mentionne les désaccords majeurs. Les encarts ci-dessous présentent la position exprimée par l'ACRO (Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest), à laquelle s'associent FNE (France Nature Environnement), l'ANCCLI (Association Nationale des Comités et des Commissions Locales d'Information), Robin des Bois et Greenpeace et les éléments de réponse apportés par les services de l'Etat.

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 2013-2015, l'ACRO a constamment mis l'accent sur la prise en compte des rejets d'effluents au sein de ce document.

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 2013-2015.

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

L'ASN et le Ministère chargé de l'écologie 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, la directive 2011/70 du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs exclut également de son champ d'application les rejets autorisés (article 2 de la directive).

Caractérisation des déchets

Une bonne connaissance du contenu radiologique et physico-chimique du colis⁸ de déchet permet d'optimiser son conditionnement et sa filière de gestion. L'obtention d'une meilleure précision dans la détermination des natures et quantités de radionucléides est un objectif permanent et les avancées dans ce domaine se font au rythme des progrès techniques réalisés dans la technologie des capteurs et des techniques de discrimination. Ils devraient conduire à des analyses plus rapides et moins génératrices de déchets secondaires.

Confinement des déchets

L'objectif de la fabrication d'un colis de déchet est en général de confiner les déchets sous une forme stable, solide, monolithique⁹. 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

⁸ Lors de leur conditionnement, les déchets radioactifs sont introduits après traitement ou non, dans un conteneur, dans lequel ils peuvent être immobilisés ou non dans une matrice pour former un colis de déchets.

⁹ Si le colis ne garantit pas à lui seul une sûreté intrinsèque suffisante, il est stocké au sein d'un ouvrage, appelé « monolithe » dont les vides sont remplis par du béton.

notamment le verre et le ciment. Les études qui seront menées dans les prochaines années viseront à rendre ces procédés industriellement plus performants soit en augmentant leurs capacités de production, soit en étendant leurs domaines d'application à des déchets nouveaux, soit pour développer de nouvelles matrices dans l'objectif d'optimiser les propriétés confinantes de certains colis.

Dans les prochaines années, les déchets historiques actuellement entreposés devront faire éventuellement l'objet de traitements pour leur reprise et ce préalablement à leur conditionnement. C'est par exemple le cas des déchets constitués de gaines de combustible provenant des réacteurs de la filière UNGG sur les sites de La Hague et de Marcoule.

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 possible.

Optimisation de la dosimétrie des salariés et des populations

Au niveau international, les grands principes de la protection contre les rayonnements ionisants ont été définis par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) et concernent :

- la justification des activités (technique, économique et éthique) ;
- la limitation des conséquences (doses) ;
- l'optimisation de la protection (doses).

L'efficacité de la démarche d'optimisation (optimiser le niveau de radioprotection) repose sur la diffusion générale de la culture du risque radiologique. Tous ces principes sont bien évidemment également applicables dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

Anticiper les besoins en installations de traitement et d'entreposage

La dimension temporelle est un critère primordial dans la mise en place de filières de gestion à long terme de façon à permettre la juste adéquation entre les besoins en installations d'entreposage, de traitement/conditionnement, caractérisation et transport et les moyens disponibles à un instant donné. Par ailleurs, l'intégration de ce facteur temporel permet d'anticiper les risques liés à la défaillance du producteur de déchets. Le volume et la disponibilité des filières de gestion à long terme par rapport aux besoins globaux doivent être suivis et anticipés pour éviter que la production de déchets n'induisse des besoins qui seraient supérieurs aux capacités disponibles et autorisées.

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 définir leurs besoins présents et à venir à chacune des étapes de gestion des déchets et se doter des moyens (installations d'entreposage, emballages de transport, moyens de caractérisation...) indispensables à une gestion optimisée. Ces stratégies sont examinées régulièrement par les autorités de sûreté, avec l'appui de l'IRSN.

S'agissant des déchets du futur, comme les déchets issus de l'exploitation de l'installation ITER ou les déchets qui seraient issus de l'exploitation d'un parc de réacteurs de quatrième génération, leur gestion devra être examinée en 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 du stockage, conséquences sur l'emprise du stockage...).

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. Cette directive doit être transposée avant le 23 août 2013.

Le cadre national de la gestion des matières et des déchets radioactifs est défini par la loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006, relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, qui 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. La loi 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 définies par la loi :

- 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, la loi confirme notamment le rôle de la Commission nationale d'évaluation, chargée d'évaluer les recherches sur la gestion des matières et des déchets radioactifs. Elle prévoit également l'organisation régulière de débats par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.

1.3.1 Le cadre législatif européen

Le 19 juillet 2011, le Conseil de l'Union européenne a adopté la directive 2011/70/Euratom du Conseil établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs.

Cette directive définit un cadre législatif contraignant et impose notamment la mise en place dans chaque Etat membre d'une autorité de réglementation compétente dans le domaine de la gestion sûre 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.

Par ailleurs, cette directive impose l'établissement d'un programme national pour mettre en œuvre la 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.

La directive définit également des dispositions relatives à la transparence à l'égard du public et demande que soit prévu un système de sanctions, comprenant notamment des mesures de suspension. Elle formalise la responsabilité en dernier ressort de chaque Etat membre pour la prise en charge de la gestion de ses déchets radioactifs, et encadre les possibilités d'exportation pour le stockage de ces déchets.

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 Etats membres dans la gestion de leurs déchets radioactifs et combustibles usés.

Elle doit être transposée, par chaque Etat membre, avant le 23 août 2013 et le programme national relatif à la mise en œuvre d'une politique de gestion des déchets et du combustible usé doit être transmis à la commission européenne avant le 23 août 2015.

1.3.2 Le cadre législatif et réglementaire en France

Historique et contexte de l'élaboration de la loi du 28 juin 2006

Des actions majeures ont été entreprises de longue date afin d'assurer une gestion adaptée et pérenne des déchets radioactifs : 90 % du volume des déchets produits¹⁰ est d'ores et déjà pris en charge dans des centres de stockage en surface gérés par l'Andra. Ces centres sont situés sur les sites de Digulleville dans la Manche et de Soulaines-Dhuys et Morvilliers dans l'Aube. Le centre de stockage de la Manche a été couvert et est entré en phase de surveillance en 2003 tandis que les centres de l'Aube sont en cours d'exploitation.

Les 10 % restants, qui concentrent 99% de la radioactivité, sont entreposés dans des installations de surface, notamment à La Hague (Manche), Marcoule (Gard) et Cadarache (Bouches-du-Rhône). Ces installations ont été conçues pour entreposer les déchets à titre transitoire, dans l'attente d'un exutoire ultime.

Pour définir des solutions de gestion à long terme, la France s'est engagée dans des programmes d'études et de recherches ambitieux, à l'instar d'autres pays également concernés comme les Etats-Unis, la Finlande, la Suède ou encore l'Allemagne. En particulier, le Parlement français a voté le 30 décembre 1991 une loi spécifique fixant trois axes de recherche¹¹ et prévoyant que le Gouvernement présenterait un nouveau projet de loi avant le 30 décembre 2006 sur la base du bilan des recherches dans chacun de ces axes :

1. le premier axe visait à réduire le volume et la toxicité des déchets en séparant les différents produits contenus dans les combustibles usés (processus dit de « séparation ») et en transformant certains éléments radioactifs à durée de vie longue en éléments radioactifs à durée de vie plus courte dans de nouveaux réacteurs nucléaires (processus dit de « transmutation »). Cette option suppose de développer une nouvelle génération d'usines de fabrication et de traitement des combustibles et une nouvelle génération de réacteurs nucléaires ;
2. le deuxième axe était le stockage, irréversible ou réversible, des déchets en couche géologique profonde. Des stockages de déchets radioactifs existent déjà, mais ils sont situés en surface et sont dédiés aux déchets de faible et moyenne activité à vie courte ou de très faible activité. Les possibilités de stockage en couche géologique profonde

¹⁰ Hors déchets ayant fait l'objet de modes de gestion historiques.

¹¹ Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

des déchets radioactifs à vie longue ont été étudiées notamment grâce au Laboratoire souterrain de l'Andra à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, dans une couche géologique vieille d'environ 150 millions d'années, stable et située à environ 500 m de profondeur ;

3. le troisième axe concernait l'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée des déchets. Il visait à développer des installations qui permettraient de conserver les déchets en surface de façon sûre pendant 100 à 300 ans, contre 50 à 100 ans pour les entreposages exploités actuellement. Un entreposage étant par définition temporaire, les déchets auraient *in fine* été retirés.

Effectuées sous l'égide du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives ou CEA (pour les axes 1 et 3) et de l'Andra (pour l'axe 2), ces recherches ont donné lieu à de nombreuses collaborations scientifiques, aux plans national (avec le CNRS et les universités) et international. Elles ont été finalisées au cours de l'année 2005 et ont donné lieu à des rapports de synthèse remis aux ministres en charge de l'industrie et de la recherche.

Plusieurs initiatives d'évaluation et de concertation ont été lancées en 2005 et 2006 sur la base de ces recherches, dont :

- le rapport publié en mars 2005 par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) sous l'égide des députés Christian Bataille et Claude Birraux et intitulé « Pour une gestion durable des matières et des déchets radioactifs » ;
- les évaluations des résultats de recherche réalisées par la Commission nationale d'évaluation (CNE), composée d'experts indépendants, par l'Autorité de sûreté nucléaire, et par des panels d'experts étrangers sélectionnés par l'Agence de l'Energie Nucléaire (AEN) de l'OCDE ;
- le débat public conduit de septembre 2005 à janvier 2006 par la Commission nationale du débat public (CNDP), au cours duquel la Commission a mené pour la première fois un débat non pas sur un projet d'infrastructure concret, mais sur une question de politique générale dans le domaine de l'environnement.

Ces différents éléments, complétés par les avis rendus par le Conseil d'Etat et le Conseil économique et social, ont permis au Gouvernement d'élaborer un projet de loi en 2006 concernant la gestion des matières et déchets radioactifs. Le débat public puis l'examen parlementaire ont conduit à des évolutions majeures concernant notamment la prise en compte des matières radioactives (et non des déchets seulement), les objectifs pour la nouvelle phase de recherche, le rôle du Parlement après 2006, la notion de réversibilité, les modalités de concertation locale, le dispositif d'accompagnement économique pour les territoires concernés et la sécurisation des ressources financières nécessaires à la gestion des déchets radioactifs et au démantèlement des installations nucléaires. La loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs a été publiée au Journal officiel du 29 juin 2006.

La loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs

Aux termes de la loi du 28 juin 2006 (majoritairement codifiée dans le code de l'environnement), la gestion durable des matières et des déchets radioactifs doit respecter les principes suivants : protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement ; prévention ou limitation des charges qui seront supportées par les générations futures ; principe pollueur-payeur.

La loi aborde trois grands sujets :

1. la définition d'une politique de gestion des matières et déchets radioactifs ;
2. l'amélioration de la transparence et du contrôle démocratique ;
3. les dispositions de financement et d'accompagnement économique.

Concernant tout d'abord la politique de gestion, l'article L.542-1-2-II du code de l'environnement fixe les orientations de gestion 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.

L'article L.542-1-2 du code de l'environnement prévoit en outre l'élaboration tous les trois ans du présent document, le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ce Plan, présenté plus en détail dans la partie 1.3.3, vise à :

- 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 ainsi que les durées d'entreposage ;
- déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif ; le plan organise en particulier les recherches et études à mener sur la gestion de ces déchets et fixe les échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion et pour la création ou la modification d'installations.

La loi définit également un programme de recherche sur la gestion de l'ensemble des matières et des déchets radioactifs (articles 3 et 4 de la loi du 28 juin 2006). Pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, trois axes sont précisés, en cohérence avec ceux de la loi de 1991.

1. Pour le premier axe, relatif à la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, une évaluation des perspectives industrielles des différentes filières de transmutation sera dressée fin 2012. En fonction des résultats qui seront obtenus dans le cadre de ce bilan, un prototype d'installation pourrait être construit à partir de 2020 ;
2. Pour le second axe, relatif aux possibilités de stockage des déchets en couche géologique profonde, la loi de 2006 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. En ce qui concerne les jalons fixés par la loi, il est demandé que la demande d'autorisation du stockage puisse être instruite en 2015 après la tenue d'un débat public et que la mise en exploitation intervienne, sous réserve que l'instruction préalable soit favorable, en 2025 ;
3. Le troisième axe a été revu par la loi de 2006, qui privilégie la complémentarité entre l'entreposage et le stockage au lieu de la notion de « longue durée » pour l'entreposage. La loi prévoit désormais que des études et recherches soient menées par l'Andra afin 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 Plan, au plus tard en 2015.

L'interdiction du stockage en France des déchets radioactifs en provenance de l'étranger, introduite par la loi de 1991, est réaffirmée et précisée dans l'article L.542-2 du code de l'environnement. En particulier, l'introduction de combustibles usés ou de déchets radioactifs sur le territoire national n'est permise qu'à des fins de traitement, de recherche ou de transfert entre Etats étrangers. Par ailleurs, l'introduction à des fins de traitement doit être encadrée par un accord intergouvernemental, devant notamment préciser une date au-delà de laquelle les déchets issus des substances traitées ne peuvent pas être entreposés en France. Toutefois, cette

interdiction ne concerne pas le retour et le stockage en France de déchets radioactifs ou de combustibles usés issus de substances ou d'équipements radioactifs expédiés depuis la France à l'étranger à des fins de traitement ou de recherche, lorsque ceux-ci ne provenaient pas, à l'origine, de l'étranger. Elle ne concerne pas non plus le retour en France de sources radioactives scellées ou d'équipements les contenant, lorsque ces sources ou équipements ont été fournis par un industriel français.

Pour les déchets des petits producteurs hors électronucléaire, l'article L.542-12 du code de l'environnement confie à l'Andra la mission d'assurer la collecte, le transport et la prise en charge de déchets radioactifs et la remise en état de sites de pollution radioactive sur demande et aux frais de leurs responsables ou sur réquisition publique lorsque les responsables de ces déchets ou de ces sites sont défaillants.

Dans le domaine de la transparence et du contrôle démocratique, la Commission nationale d'évaluation (CNE), créée par la loi de 1991, est chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement des recherches et études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs. La loi de 2006 en a notamment revu les modalités de fonctionnement et la composition, fixées à l'article L.542-3 du code de l'environnement.

Un Comité local d'information et de suivi (CLIS) est par ailleurs placé auprès du laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse / Haute-Marne. A la suite de la loi de 2006, son fonctionnement a été modifié, sa composition élargie et sa présidence confiée à un élu, national ou local, conformément aux dispositions de l'article L.542-13 du code de l'environnement.

La loi précise également de nouveaux jalons pour autoriser les phases de création et de fermeture de la future installation de stockage en couche géologique profonde. Ainsi, une première loi doit fixer les conditions de réversibilité, après débat public et consultation des collectivités territoriales concernées ainsi que de la CNE et de l'ASN, avant qu'un décret ne puisse autoriser la création du centre de stockage. A plus long terme, seule une loi pourra autoriser la fermeture définitive du stockage (article L.542-10-1 du code de l'environnement).

Le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire, créé par la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, est en outre chargé d'organiser périodiquement des concertations et débats concernant la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

La loi prévoit enfin des dispositions de financement, ainsi que la modernisation du dispositif d'accompagnement local (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) du laboratoire souterrain et du futur centre de stockage en couche géologique profonde.

Les modalités de financement des trois axes de recherche sont précisées par la loi (articles L.542-12-1 et L.542-12-2 du code de l'environnement). En particulier, les recherches menées par l'Andra sur les axes 2 et 3 sont financées par une taxe additionnelle à la taxe sur les installations nucléaires de base.

Afin de sécuriser le financement des charges nucléaires de long terme (article 20 de la loi du 28 juin 2006), la loi impose que chaque exploitant d'installation nucléaire de base ou d'installation nucléaire de base secrète, à l'exception de l'Etat, évalue de manière prudente ses charges futures, constitue des provisions à ce titre et affecte des actifs dédiés à leur couverture avant mi-2016. Au titre de la loi n°2010-1488 du 7 décembre 2010, un report de cinq ans (à compter du 30 juin 2011) peut toutefois être accordé, sous conditions, pour la mise en œuvre du plan de constitution des actifs définis. Ces charges incluent les charges de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs ainsi que les charges de démantèlement des installations nucléaires de base (ou, pour les installations de stockage de déchets radioactifs, les charges d'arrêt définitif, d'entretien et de

surveillance) et des installations nucléaires de base secrètes. Un régime encadrant les pratiques des exploitants dans ce domaine est créé avec en particulier la mise en œuvre d'un contrôle direct de l'Etat sur les modalités d'évaluation et de couverture des charges. Sont ainsi prévus des rapports triennaux, ainsi que des mises à jour annuelles, qui sont expertisés par l'autorité administrative (cf. § 1.5). La loi crée en outre une Commission nationale d'évaluation du financement (CNEF) des charges nucléaires de long terme pour évaluer les contrôles mis en œuvre par l'Etat. La CNEF a présenté son premier rapport au Parlement le 24 juillet 2012.

Enfin, afin d'accompagner les territoires situés à proximité d'un laboratoire de recherche souterrain ou d'un centre de stockage en couche géologique profonde, les Groupements d'Intérêt Public (préexistants en Meuse et en Haute-Marne) ont désormais trois missions : (i) la gestion des équipements de nature à favoriser l'implantation d'un laboratoire de recherche ou d'un centre de stockage ; (ii) la mise en œuvre, dans les limites du département, d'actions d'aménagement du territoire et de développement économique, particulièrement dans une « zone de proximité » autour de l'installation ; (iii) le soutien à des actions de formation ainsi qu'à des actions en faveur du développement, de la valorisation et de la diffusion des connaissances scientifiques et technologiques, notamment dans les domaines étudiés dans le laboratoire et dans ceux des nouvelles technologies de l'énergie. Le financement de ces missions est assuré par des taxes additionnelles à la taxe déjà existante pour les installations nucléaires de base.

La mise en œuvre de la loi du 28 juin 2006

L'ensemble des décrets devant être pris depuis la publication de la loi du 28 juin 2006 ont été publiés ou sont en cours de publication, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

	Objet du décret	Article	Date
Politique nationale de gestion des matières et des déchets radioactifs	Etablissement des prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs	Art. L 542-1-2 du CE	23 avril 2012
	Gestion des déchets étrangers et contrats de traitement	Art. L. 542-2 à L. 542-2-1 du CE	3 mars 2008
	Nomination des membres de la CNE	Art. L 542-3 du CE	5 avril 2007 20 juillet 2010
	Nature des informations à transmettre pour l'inventaire national et le PNGMDR	Art. L 542-13-1 du CE	29 août 2008
Accompagnement des recherches menées dans le laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne	CLIS	Art. L 542-13 du CE	7 mai 2007
	GIPs - Décret générique	Art. L 542-11 du CE	14 décembre 2006
	Définition de la zone de proximité - GIP Meuse et Haute-Marne	Art. L 542-11 du CE	5 février 2007
	Taxe "accompagnement" : fraction reversée par les GIP aux communes de la zone des 10 km	Art. 43 Loi de finances pour 2000	7 mai 2007
	Coefficient des taxes "accompagnement" et "diffusion technologique"	Art. 43 Loi de finances pour 2000	26 avril 2000 modifié

	Zone de consultation lors de la création d'un stockage	Art. L 542-10-1 du CE	Publication à prévoir en lien avec le calendrier relatif au projet de stockage en couche géologique profonde.
Dispositions de financement	Coefficient taxe additionnelle "recherche"	Art. 43 Loi de finances pour	26 avril 2000 modifié
	Sécurisation des charges nucléaires de long terme	Art. 20 loi du 28 juin 2006	23 février 2007 modifié
	Mise en place de la CNEF	Art. 20 loi du 28 juin 2006	20 juin 2008

Ensemble des décrets publiés depuis la publication de la loi du 28 juin 2006.

En particulier, la politique de gestion a été précisée par les décrets du 16 avril 2008, puis du 23 avril 2012 fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

Les producteurs et les détenteurs de déchets radioactifs ont la responsabilité d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion selon les orientations énoncées à l'article L.542-1-2 du code de l'environnement. A cette fin :

- la cohérence du dispositif de gestion des déchets radioactifs doit être recherchée, de même que son optimisation technique et économique ;
- les centres de stockage de déchets radioactifs, peu nombreux et aux capacités limitées, doivent être utilisés au mieux par les différents acteurs ;
- les filières de gestion des déchets radioactifs prennent en compte les volumes de déchets transportés et les distances à parcourir entre les lieux d'entreposage et les lieux de stockage.

Il convient de rappeler à cet égard le principe de responsabilité du producteur d'un déchet qui doit financer sa prise en charge dans une filière autorisée.

Les autres textes

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

La loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique définit ainsi plusieurs priorités, dont celle de maintenir l'option nucléaire ouverte à l'horizon 2020. Elle précise également qu'il faut développer la recherche dans le secteur de l'énergie, notamment pour les technologies des réacteurs nucléaires du futur (fission ou fusion), en particulier avec le soutien du programme ITER, et également des technologies nécessaires à une gestion durable des déchets radioactifs.

Par ailleurs, la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite loi 'TSN, codifiée) s'applique à la gestion des matières et déchets radioactifs, notamment certaines dispositions relatives aux installations nucléaires de base (catégorie dont relève la majorité des centres de stockage de déchets radioactifs), ou au transport de substances radioactives.

La gestion des déchets radioactifs provenant des installations nucléaires de base repose sur un cadre réglementaire strict, précisé par l'arrêté du 31 décembre 1999 fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des INB. Cet arrêté 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 des déchets produits, en tenant notamment compte des filières de gestion ultérieures. Il exige la rédaction d'une étude précisant les modalités de gestion des déchets produits dans les installations nucléaires de base. Un des volets de cette étude est soumis à l'approbation de l'ASN. Dans le cadre de la rénovation de l'encadrement réglementaire des INB qui fait suite à la loi « TSN », cet arrêté a été révisé et les prescriptions relatives à la gestion des déchets dans les INB sont regroupées au sein de l'arrêté du 7 février 2012. Une décision de l'ASN viendra compléter les dispositions relatives aux modalités de gestion des déchets produits dans les INB.

La gestion des déchets radioactifs provenant des installations nucléaires de base secrètes (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. Ce document est soumis à l'approbation de l'Autorité de Sécurité Nucléaire de Défense (ASND) et sert de référentiel pour la gestion optimisée des déchets produits dans les INBS.

En ce qui concerne les déchets radioactifs produits hors des installations nucléaires de base et hors des installations nucléaires de base secrètes, l'article R.1333-12 du code de la santé publique prévoit que la gestion des effluents et des déchets contaminés par des substances radioactives ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire quelle que soit sa nature comportant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants doit faire l'objet d'un examen et d'une approbation par les pouvoirs publics. La décision de l'Autorité de sécurité nucléaire en date du 29 janvier 2008, homologuée par les ministres en charge de l'environnement et de la santé, prise en application des dispositions de l'article R.1333-12 du code de la santé publique, fixe 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.

En ce qui concerne les sources scellées usagées, le principe de prévention et réduction des déchets conduit en priorité à les gérer en tant que matières radioactives (potentiellement valorisable). Leur gestion est réalisée conformément aux modalités prévues par le code de la santé publique : retour au fournisseur, qui doit lui-même organiser leur gestion et peut les faire reprendre par son propre fournisseur, les faire recycler par un fabricant, les entreposer en attente de décision ou décider de les gérer en tant que déchets radioactifs.

Au niveau international, la question des déchets radioactifs est traitée au travers de référentiels de sûreté et de radioprotection (élaborés notamment par l'AIEA), et au niveau de divers groupes de travail, au sein de l'AEN (Agence pour l'Energie Nucléaire de l'OCDE) ou de groupes de travail du Forum Européen de l'Energie Nucléaire, du groupe européen des régulateurs en matière de sûreté nucléaire (ENSREG). Par ailleurs, une convention internationale (Convention commune sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs, approuvée par la France le 22 février 2000, entrée en vigueur le 18 juin 2001), dont 65 Etats sont parties contractantes, promeut des principes en la matière, et organise tous les trois ans des revues par des pairs. Des accords bilatéraux peuvent également être signés, conformément à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement, pour encadrer l'importation pour traitement de déchets

radioactifs ou de combustibles usés, afin d'assurer le respect de l'interdiction de stockage en France de déchets radioactifs provenant de l'étranger.

1.3.3 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 définit les objectifs du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs :

- 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 ainsi que les durées d'entreposage ;
- déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif. Le plan organise en particulier les recherches et études à mener sur la gestion de ces déchets radioactifs, et fixe les échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion et pour la création ou la modification d'installations.

Le code de l'environnement précise que la publication du PNGMDR est triennale et qu'un décret fixe au plan réglementaire les prescriptions qui en résultent (article L.542-1-2). Le Plan doit comporter en annexe une synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers. Il est transmis au Parlement, qui en saisit pour évaluation l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) et est rendu public.

La première version du PNGMDR a été transmise au Parlement en 2007, sur la base des travaux d'un groupe de travail pluraliste. Sa préparation avait été en grande partie réalisée de manière concomitante avec celle de la loi du 28 juin 2006. Des ajustements et des mises à jour ont ensuite été apportées afin de tenir compte des dispositions de la loi. Une synthèse de ce plan a par la suite été publiée.

Pour les éditions 2010-2012 et 2013-2015 du PNGMDR, le Gouvernement a choisi de continuer à s'appuyer sur les travaux d'un groupe de travail pluraliste. Coprésidé par la DGEC et l'ASN, ce groupe est composé notamment de producteurs et gestionnaires de déchets, d'associations, d'administrations, du HCTISN, de l'ASND et de l'IRSN.

L'élaboration du PNGMDR 2013-2015 s'est également appuyée sur l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs, publié en 2012 par l'Andra, pour les perspectives de production de déchets dans les prochaines décennies et pour les besoins et capacités d'entreposage. Du fait du grand nombre de familles de déchets identifiées dans l'Inventaire national (une centaine), le PNGMDR opère de fait des regroupements de familles afin de présenter une vision synthétique des filières de gestion.

L'édition 2013-2015 du Plan repose en outre sur les résultats des études engagées dans le cadre du Plan précédent, dont la majorité étaient reprises dans le décret et l'arrêté du 23 avril 2012 fixant les prescriptions relatives au PNGMDR 2010-2012.

Dans la continuité de l'élaboration du PNGMDR précédent, la démarche engagée pour la révision du PNGMDR fait ainsi une large place au pluralisme et à la transparence, en cohérence avec le Grenelle de l'environnement. Il est même à noter que la prise en compte de ces préoccupations dans le PNGMDR est antérieure au Grenelle de l'environnement.

Enfin, l'utilité d'un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs a été confirmée en 2011 au niveau européen par la directive 2011/70/Euratom du Conseil¹², présentée au paragraphe 1.3.1.

1.3.4 Le Comité Directeur pour la gestion de la phase Post-Accidentelle

Contexte

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 des groupes de travail (GT).

Le CODIRPA s'est déroulé en trois phases : la définition des scénarios de base, la mise en place de 11 groupes d'experts (commissions locales d'information, associations, élus, agences sanitaires, organismes d'expertises, autorités etc.), chargés de produire des recommandations sur des thèmes définis et la validation des éléments de doctrine pour la gestion post-accidentelle issus de ces travaux. L'ensemble de ces éléments a donné lieu à deux séminaires internationaux organisés par l'ASN, à Paris en 2007 et 2011.

Contenu

Le CODIRPA a retenu, comme support aux travaux des GT, 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 2012¹³. 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.

¹² 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.

¹³ 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 plan national de gestion des déchets et matières radioactives (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 sera réalisée dans un premier temps sur la base de résultats d'évaluations prédictives. Ces zones sont 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 feront l'objet d'un entreposage spécifique à mettre en œuvre progressivement. Toutefois, des dispositions exceptionnelles peuvent 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 est 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.

L'accident survenu en mars 2011 sur la centrale de Fukushima Dai-ichi au Japon est venu rappeler l'importance d'une démarche telle que celle retenue par le CODIRPA. Les conséquences de cet événement, auxquelles les populations japonaises font aujourd'hui face, placent le CODIRPA devant de nouveaux enjeux. Cette démarche a donc vocation à être poursuivie au-delà de la publication du document « Eléments de doctrine pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire » le 21 novembre 2012, qui constitue le socle de la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire.

Il s'agira donc notamment d'assurer un accompagnement des travaux de déclinaison de ce plan au niveau territorial. En complément de ce travail de déclinaison, certaines questions restent en suspens à l'issue de la première phase des travaux du CODIRPA et les réflexions, menées jusqu'à présent sur des accidents d'ampleur moyenne, devront en particulier être étendues à la gestion des accidents graves.

Dans ce cadre, le nouveau programme de travail du CODIRPA portera sur :

- la mise à jour périodique des éléments de doctrine établis, en tenant compte des situations accidentelles retenues dans le plan gouvernemental et du retour d'expérience de la gestion post-accidentelle de l'accident de Fukushima au Japon ;
- l'accompagnement de la préparation de la gestion de la phase post-accidentelle aux niveaux national et territorial, avec les administrations concernées et l'ensemble des parties prenantes.

Les travaux du CODIRPA sont disponibles sur le site internet de l'ASN¹⁴. Ils feront l'objet d'une présentation lors d'une réunion du groupe de travail du PNGMDR.

1.3.5 Les acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs

Les propriétaires de matières radioactives et les producteurs de déchets radioactifs peuvent être regroupés en cinq secteurs économiques (cf. 1.1.2) : électronucléaire, recherche, Défense, industrie non-électronucléaire, médical. Pour l'inventaire global, trois principaux producteurs de déchets peuvent être mentionnés, comme indiqué dans l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs 2012 : il s'agit, par ordre alphabétique, d'AREVA, du CEA et d'EDF.

L'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs), établissement public 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 de 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 ainsi que leur localisation sur le territoire national.

Les principaux instituts français de recherche dans le domaine de la gestion des matières et des déchets radioactifs sont, outre l'Andra déjà mentionnée, le CEA, le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), le CNRS (qui a structuré ses recherches autour du programme de recherche PACEN - Programme sur l'Aval du Cycle et l'Energie Nucléaire - auquel a succédé depuis 2012 le défi interdisciplinaire NEEDS - Nucléaire, Energie, Environnement, Déchets, Société -), l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire), l'Institut Carnot MINES (Institut Carnot «

¹⁴ Les travaux du CODIRPA sont disponibles sur le site internet <http://www.asn.fr>, rubrique « les dossiers », « la gestion post-accidentelle ».

Méthodes innovantes pour l'entreprise et la société »), ainsi que les 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 à la gestion des déchets et aux stockages géologiques en particulier. Elles contribuent à maintenir une capacité d'expertise de haut niveau permettant à l'institut de jouer son rôle d'appui technique des autorités de sûreté (ASN et ASND). Parallèlement, un certain nombre d'actions de 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. Un Comité d'Orientation et de Suivi des Recherches sur l'Aval du Cycle (COSRAC) vise à assurer la cohérence de ces programmes de recherches. Enfin, la Commission Nationale d'Evaluation, dont le rôle a été confirmé par la loi du 28 juin 2006, assure une évaluation annuelle de la recherche dans le domaine de la gestion des matières et déchets radioactifs.

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'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE), 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 (voir ci-après). 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. Par ailleurs, toujours au sein de la DGPR, le bureau de la planification et de la gestion des déchets élabore la politique en matière de gestion des déchets conventionnels, y compris des déchets dits à radioactivité naturelle renforcée. Au sein du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche (MESR), 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 et l'ASND. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) assure le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour les installations et activités nucléaires civiles. Il s'agit d'une autorité administrative indépendante, créée par la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense est assuré par l'Autorité de sûreté nucléaire de défense (ASND). L'ASND est dirigée par le délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense, placé auprès du ministre chargé de la défense et du ministre chargé de l'industrie.

Au sein du Parlement, l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (OPECST) peut procéder 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.

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 participent au groupe de travail du PNGMDR, comme 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, France Nature Environnement. Les articles L.125-24 à L.125-40 du code de l'environnement prévoient en outre que le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN) organise périodiquement des

concertations et débats sur ce thème. Des échanges ont également lieu au sein du Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS), mis en place auprès du Laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse / Haute-Marne, ainsi qu'au sein des Commissions et Comités Locaux d'Information (CLI), implantés autour des installations nucléaires de base (INB et INBS), et regroupés en une Association nationale des CLI (ANCCLI).

Enfin, des organisations internationales travaillent à l'harmonisation des politiques de gestion entre les différents pays : EURATOM (Communauté européenne de l'énergie atomique) au niveau européen, l'AEN (Agence de l'énergie nucléaire) au sein de l'OCDE et l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique) rapportant à l'Assemblée Générale de l'ONU.

1.4 La dimension sociétale et la 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'anticiper 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.

1.4.1 La dimension sociétale / Les études en sciences humaines et sociales

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 Sciences Humaines et Sociales (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'Agence, 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 des événements sur des longues durées et en assurer leur maîtrise.

D'autres sujets de recherche, moins avancés dans leur définition, pourraient être traités 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 train de se mettre en place actuellement.

Le programme NEEDS (Nucléaire, Energie, 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 du PNGMDR.

1.4.2 La préservation et la transmission de la mémoire

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 deux 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 deux dispositifs de mémoires « actives » sont :

- 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 projet 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 projet 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 projet 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 Volet recherche du PNGMDR).

La conservation de la mémoire des situations historiques de stockage

Certains déchets radioactifs ont, par le passé, été stockés dans des installations de stockage de déchets conventionnels. Afin de conserver la mémoire de la présence de tels sites, la mise en œuvre des outils réglementaires disponibles tels que leur mention dans les documents d'urbanisme, l'instauration de restrictions d'usages ou encore la mise en place de servitudes d'utilité publique est une bonne pratique.

1.5 Le coût et le financement de la gestion 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, institué dans la loi du 28 juin 2006 codifiée au code de l'environnement, prévoit la constitution d'un portefeuille d'actifs dédiés par les exploitants nucléaires au cours de l'exploitation. Pour cela, 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. De plus, une Commission extraparlamentaire (la CNEF) évalue le contrôle effectué par l'autorité administrative et remet un rapport triennal sur ses évaluations au Parlement, ainsi qu'au Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN).

1.5.1 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 terme¹⁵, complété en 2007 par un corpus réglementaire.¹⁶

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'Etat (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 de base (INB) et d'installations nucléaires de base secrètes (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 surveillance¹⁷. Ils évaluent aussi les charges de gestion de leurs

¹⁵ 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).

¹⁶ Décret n°2007-243 du 23 février 2007 (modifié par décret n°2010-1673 du 29 décembre 2010) et arrêté du 21 mars 2007 relatif à la sécurisation du financement des charges de long terme.

¹⁷ Cette évaluation inclut également les charges de reprise et conditionnement des déchets anciens (RCD).

combustibles usés et déchets radioactifs. Ces charges doivent faire l'objet de provisions actualisées, inscrites dans les comptes des exploitants. 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'exploitation¹⁸).

Les actifs dédiés doivent présenter un niveau de sécurité, de diversification et de liquidité suffisant et approprié. A 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'Etat 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.

Les exploitants sont tenus de maintenir en permanence le taux de couverture de leurs provisions au-dessus du seuil de 100% depuis juin 2011. Certains exploitants nucléaires disposent toutefois d'une période transitoire (jusqu'au 29 juin 2016) pour atteindre ce niveau, compte-tenu de l'horizon temporel de décaissements lointains sachant qu'un taux de couverture minimum de 75% doit être dès à présent respecté.

1.5.2 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 Direction générale de l'Energie et du Climat, qui s'appuie sur l'expertise des autorités de sûreté nucléaire compétentes (ASN et ASND).

Aux termes du code de l'environnement¹⁹, 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 avoir recueilli les 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

¹⁸ 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).

¹⁹ Article L-594-1 et suivants.

d'une INB ou d'une INBS 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 L542-12-2 du code de l'environnement).

Par ailleurs, une Commission extraparlamentaire (la 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) est chargée d'évaluer le contrôle, par l'autorité administrative, de l'adéquation des provisions actualisées aux charges brutes, telles qu'évaluées par les exploitants, ainsi que de la gestion des actifs dédiés. Cette commission évalue également la gestion de deux fonds gérés par l'Andra - distincts du fonds de l'Andra créé spécifiquement au titre de l'article L.594-2 :

- un fonds destiné au financement des recherches et études sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs (créé par l'article L.542-12-1 du code de l'environnement) ;
- un fonds destiné au financement de la construction, de l'exploitation, de l'arrêt définitif, de l'entretien et de la surveillance des installations d'entreposage ou de stockage des déchets de haute ou de moyenne activité à vie longue construites ou exploitées par l'agence (créé par l'article L.542-12-2 du code de l'environnement).

La CNEF a tenu sa réunion constitutive le 7 juin 2011. Elle reçoit communication des rapports triennaux des exploitants et peut demander à ces derniers communication de tous documents nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

La commission doit remettre au Parlement ainsi qu'au Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN), tous les trois ans, un rapport présentant l'évaluation relevant de sa compétence. Le premier rapport de la CNEF a été remis en juillet 2012 et est accessible sur le site internet du ministère en charge de l'énergie²⁰.

1.5.3 Montants des provisions et des actifs dédiés constitués

Le tableau suivant indique, pour les trois principaux exploitants (AREVA, CEA, EDF), au 31 décembre 2011 :

- les charges de long terme, en valeur brute aux conditions économiques 2011, *i.e.* le montant qu'il aurait fallu déboursier si tous les travaux avaient été réalisés en 2011 ;
- 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.

²⁰ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Financement-des-charges-nucleaires.html>

En milliards d'euros, et au 31.12.2011		Charges brutes, aux conditions économiques 2011	Provisions Actualisées	Assiette des provisions à couvrir par des actifs dédiés ²¹	Valeur du portefeuille d'actifs de couverture	Taux de couverture
EDF	Démantèlement	21	11	11	-	-
	Combustibles	15	9	-		
	Déchets	25	7	7		
	TOTAL	61	27	18	16	85%
CEA	Démantèlement	9	6	6	-	-
	Combustibles	1	1	1		
	RCD*	3	2	2		
	Déchets	3	1	1		
	TOTAL	16	10	10	10	100%
AREVA et filiales	Démantèlement	8	4	4	-	-
	RCD*	2	1	1		
	Déchets	2	1	1		
	TOTAL	12	6	6	5	95%
Total Exploitants	Démantèlement	38	21	21	-	-
	Combustibles	16	10	1		
	RCD*	5	3	3		
	Déchets	30	9	9		
	TOTAL	89	43	34	31	91%

Actifs dédiés des exploitants AREVA, EDF et CEA au 31 décembre 2011²².

** RCD : reprise et conditionnement des déchets anciens*

²¹ Seules les provisions pour démantèlement ainsi que les provisions pour gestion des déchets radioactifs doivent être couvertes par des actifs dédiés. Les provisions pour gestion du combustible usé 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.

²² Les données fournies dans ce tableau sont issues du rapport de la Commission Nationale d'Évaluation du Financement des charges de démantèlement des INB et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs (CNEF) de juillet 2012 et de la DGEC.

2 Les filières de gestion existantes : bilan et perspectives

2.1 La gestion des situations historiques

Certains déchets radioactifs ont pu, par le passé, faire l'objet de modalités de gestion qui ont depuis évolué, notamment de stockages au sein ou à proximité des sites de production. Ils ont également pu, dans certains cas, être utilisés comme remblais ou gérés au sein de filières dédiées à la gestion des 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 ;
- déchets stockés sur, ou à proximité d'installations nucléaires de base civiles ou secrètes ;
- dépôts de déchets à radioactivité naturelle renforcée (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 2013-2015 demande la poursuite des investigations relatives à la recherche de stockages historiques au sein ou à proximité des périmètres des installations nucléaires et la présentation des stratégies de gestion pour les stockages qui seraient ainsi identifiés. Pour le cas particulier des déchets générés par l'établissement de Comurhex Malvési, il convient de distinguer la gestion à long terme des déchets déjà produits (depuis 1960) de la gestion des déchets à produire d'ici 2050. **Le PNGMDR 2013-2015 demande que Comurhex poursuive les études de faisabilité relatives aux options de stockage des déchets déjà produits.**

2.1.1 Contexte et enjeux

Les déchets radioactifs ont fait 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. L'inventaire des déchets immergés figure dans l'Inventaire national de l'Andra²³ mais n'est pas traité dans le présent chapitre.

Par ailleurs, certains déchets de très faible activité provenant d'installations nucléaires de base (INB) ou d'installations nucléaires de base secrètes (INBS) ont pu par le passé faire l'objet d'un stockage sur ou à proximité des sites de production ou dans des installations de stockage de déchets conventionnels, lorsque le niveau d'activité des déchets était jugé suffisamment faible. Cette pratique a cessé après l'adoption de l'arrêté du 31 décembre 1999²⁴ fixant la réglementation

²³ L'Inventaire est consultable sur le site de l'Andra, [http : //www.andra.fr](http://www.andra.fr), rubrique « les éditions ».

²⁴ Cet arrêté sera remplacé par l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB à partir du 1^{er} juillet 2013.

technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base. Cet arrêté comporte des dispositions spécifiques et renforcées sur la gestion des déchets provenant d'INB. Les prescriptions générales des INBS demandaient également l'application de ce texte avant l'adoption de l'arrêté du 26 septembre 2007 comportant des dispositions similaires à celles de l'arrêté du 31 décembre 1999 susvisé. Les déchets produits dans les INB ou INBS font ainsi depuis cette date l'objet de modalités de gestion spécifique et renforcée, notamment d'un stockage au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de Morvilliers.

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée provenant de l'industrie conventionnelle sont ou ont été déposés (stockage ou transit) à proximité des sites de production et pour certains valorisés notamment dans le bâtiment et les travaux routiers. Ils ont également pu être stockés dans des installations de stockage de déchets conventionnels relevant de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement sans que des modalités de gestion adaptées à la nature de ces déchets ne soient clairement mises en œuvre. Ces déchets font l'objet de modalités spécifiques de gestion présentées dans le chapitre 2.9 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.

Ainsi, les stockages historiques de déchets visés par le présent paragraphe sont les lieux (à l'exclusion des lieux de stockage de résidus et stériles miniers qui font l'objet du chapitre 2.2) où se trouvent stockés des déchets 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, généralement situés à proximité d'INB ou d'INBS dont certains ont reçu régulièrement ou occasionnellement des déchets comportant une radioactivité ajoutée de l'ordre de quelques Bq/g ;
- des anciens dépôts de déchets à radioactivité naturelle renforcée situés dans des installations qui ne relèvent pas de la réglementation des installations classées.

2.1.2 Les stockages historiques de déchets dans les installations de stockage de déchets conventionnels

Les déchets de très faible activité (TFA) qui ont pu être stockés dans des installations de stockage de déchets conventionnels 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 dont la réalisation 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 2012 recense treize installations de stockage de déchets conventionnels ayant reçu des déchets radioactifs. Y sont recensées, par exemple, l'installation de stockage de Vif (38) qui a reçu les résidus de procédés de fabrication de l'usine de Cézus, l'installation de Menneville (62) où ont été stockés les résidus de transformation de phosphates ou les installations 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. L'installation de Solérieux (26) contient des fluorines provenant de l'usine de Comurhex.

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

Cas particulier de fluorines de Pierrelatte :

L'usine de Comurhex de Pierrelatte (installation classée pour la protection de l'environnement) est à l'origine de sous-produits liquides, qui sont traités pour récupérer l'uranium et le fluor issus de l'atelier de production d'hexafluorure d'uranium naturel. Les effluents sont ainsi traités à la chaux, le fluor précipite sous la forme de fluorure (CaF_2), composé chimiquement stable existant par ailleurs à l'état naturel. Ces fluorures présentent des niveaux d'activité très faibles (de l'ordre de 4 Bq/g), elles sont stockées au centre de stockage de déchets dangereux de Bellegarde (30), en accord avec la circulaire du 10 juin 2003 relative aux installations de stockage de déchets dangereux.

2.1.3 Les stockages historiques des déchets dans ou à proximité d'INB ou d'INBS

2.1.3.1 Programmes d'investigation

Dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, AREVA, le CEA et EDF ont présenté un programme d'investigations afin de vérifier qu'il n'existait pas de stockages historiques de déchets, dans le périmètre des INB ou INBS, qui n'auraient pas été mentionnés lors des déclarations à l'Andra pour l'Inventaire des matières et déchets radioactifs établi en 2009. Les exploitants ont exposé les périmètres et objectifs visés, le déroulement des phases de recensement, d'analyse et de transmission, ainsi que les délais des étapes intermédiaires. Les grands principes communs aux méthodologies retenues par les exploitants reposent 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 réalisés (interviews) et des mesures *in situ* si nécessaire ;
- une définition de la stratégie de gestion en cas de découverte de stockages historiques de déchets.

La recherche de stockages historiques de déchets a été menée sur un périmètre plus large que la demande qui visait le périmètre des INB et INBS. Le périmètre géographique retenu correspond *a minima* à la clôture des sites (et aux éventuels satellites et dépendances de ces sites pour le CEA) et les investigations ont pu aller parfois au-delà de cette limite au regard des éléments recueillis au cours des enquêtes. EDF a précisé que concernant les ouvrages extérieurs aux sites (digues...) construits avant la mise en service des INB, il était possible d'exclure la présence de toute substance radioactive.

Concernant la nature des déchets recherchés et les méthodes d'investigation mises en œuvre, les exploitants ont considéré les déchets radioactifs au sens de l'article L.542-1-1 du code de l'environnement, à savoir les « *déchets contenant des radionucléides dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection* ». Cependant, 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 dans le document de synthèse des nouvelles études déchets), les exploitants ont précisé que les déchets « susceptibles d'être contaminés ou activés », n'ont pas été *a priori* écartés dans le 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 des caractéristiques radiologiques. Ainsi, les exploitants ont précisé que l'ensemble des déchets stockés ont été pris en compte dans un premier temps et que les investigations plus poussées ont permis ou permettront de les qualifier de radioactifs ou non. Dans le doute, des mesures seront réalisées et en l'absence de détection, les déchets seront considérés comme conventionnels. Cette pratique sera complétée par des mesures de surveillance de l'environnement. Par ailleurs, les exploitants ont rappelé 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.

2.1.3.2 Bilans d'avancement

AREVA et le CEA, ainsi qu'EDF pour les sites en démantèlement et six installations en fonctionnement ont achevé la recherche de stockages historiques de déchets. Toutefois, des investigations complémentaires doivent être menées sur certaines zones dans lesquelles des stockages historiques sont suspectés.

Les principaux stockages historiques de déchets identifiés sont présentés ci-dessous. Le cas des déchets contenus dans les bassins du site de Malvési est présenté dans le § 2.1.3.4 ci après.

La butte du « Bugey »

La présence d'environ 130 m³ 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 m³ 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 m², a été formée au début des années 1960. Entre 1964 et 1977, des tranchées ont été réalisées afin d'y stocker des déchets technologiques 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 et une surveillance de l'intégrité de l'ouvrage est mise en œuvre.

La zone nord de Pierrelatte

Des déchets provenant de la démolition d'un ancien bâtiment ayant abrité le procédé expérimental d'enrichissement par voie chimique ont été stockés entre 1964 et 1977 dans douze fosses de rétention de la zone nord. Ces déchets représentent un volume de 15 000 m³. Un pilote d'assainissement a été réalisé fin 2010 – début 2011 sur deux fosses confirmant la nature des déchets enfouis (gravats, terres et galets). AREVA étudie la possibilité de reprise de ces déchets pour une gestion dans les filières dédiées aux déchets radioactifs.

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 m³ de déchets inertes ont été stockés entre 1961 et 2007, dont 1650 m³ 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 m³ de débris en grès d'ancienne canalisation et 57 m³ 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 m³ 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 service de radioprotection dans le cadre des contrôles périodiques. Aucune anomalie n'a à ce jour été détectée. Par ailleurs, la STEL est bordée par une « paroi moulée » qui permet de confiner la nappe dans cette zone, et deux forages de rabattement, au sud du pilote dégainage mécanique, permettent la reprise des eaux de cette nappe.

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

Il existe une centaine de puits contenant les résidus des expérimentations 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 par l'ASND au Préfet. Enfin, la cartographie radiométrique du site réalisée par HELINUC a permis de confirmer la maîtrise du référentiel radiologique de ce site.

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 totalement exclu du fait des pratiques anciennes de décontamination. Les volumes concernés étant importants (de 100 000 à 150 000 m³ estimés) et leur niveau de contamination radioactive étant estimés nuls ou très faibles 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, qui permettent de s'assurer 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 constituée par du PEHD soudé, 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 m³. Cette aire de stockage fait l'objet d'une surveillance, notamment par des piézomètres situés en aval qui permettent de s'assurer qu'aucun élément radioactif susceptible de polluer les nappes phréatiques ne s'en échappe.

2.1.3.3 Options de gestion

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) ont indiqué qu'à ce jour, pour les cas de stockages historiques identifiés, aucune filière de gestion externe n'était 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 (définition de servitudes spécifiques tenant compte de la nature de l'activité, de son historique et des éventuels risques résiduels) sont mises en œuvre le cas échéant.

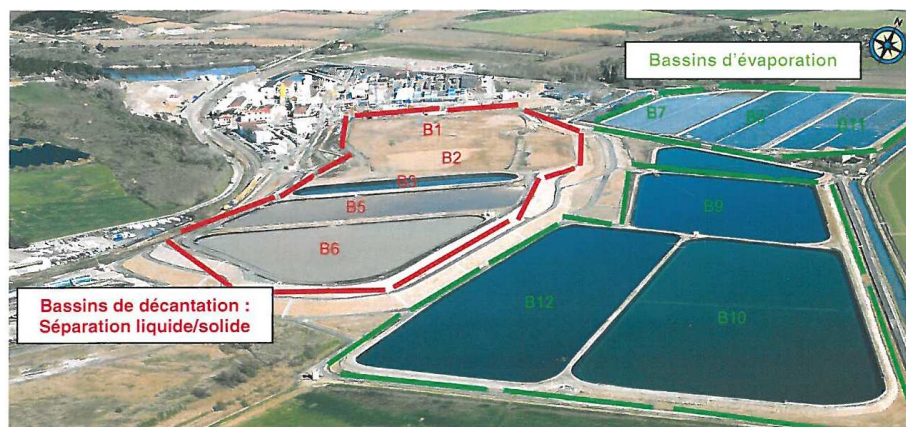
En cas de marquage significatif de l'environnement imputable à un stockage historique de déchets, AREVA, le CEA et EDF indiquent que des solutions de gestion seraient identifiées au cas par cas sur la base d'une analyse « coût/bénéfice » intégrant l'ensemble des impacts environnementaux.

2.1.3.4 Cas particulier de l'établissement de Comurhex Malvési

L'établissement de Comurhex Malvési convertit depuis 1960 l'uranium naturel provenant des mines en tétrafluorure d'uranium (UF₄). Les résidus et effluents issus du procédé sont gérés par lagunage après neutralisation à la chaux : décantation de la fraction solide (boues) dans les bassins de décantation B1 à B6 et évaporation naturelle et concentration de la fraction liquide (liquides nitrates) dans les bassins d'évaporation B7 à B12. Le bassin B4 n'existe plus depuis son inclusion dans B5. Le bassin B3 sert à la gestion des eaux du site. Il est à noter que de 1960 à 1983, l'installation a également converti de l'uranium de retraitement (URT) en UF₄.

L'inventaire des déchets de l'établissement de Comurhex Malvési fait état d'environ 280 000 m³ de boues produites depuis 1960 et entreposées dans les bassins B1 et B2 dont le remplissage est suspendu depuis l'affaissement de la digue Est des bassins en 2004. Ce volume inclut les terres et matériaux repris suite à l'effacement de la digue, ainsi que les matériaux de couverture. De plus, l'inventaire à fin 2011 prend en compte :

- 300 000 m³ de stériles et résidus miniers (liés à l'exploitation du soufre sur le site antérieurement à sa reconversion industrielle par Comurhex) sous les bassins B1 et B2, contaminés par l'infiltration de substances issues des boues de B1 et B2 ;
- 100 000 m³ de déchets qui proviendront du retraitement des liquides nitrates présents dans les bassins d'évaporation ;
- 40 000 m³ de boues contenues dans les bassins de décantation B5 et B6 ;
- 20 000 m³ de déchets divers présents sous le bassin B3, actuel bassin de gestion des eaux.



Situation des bassins

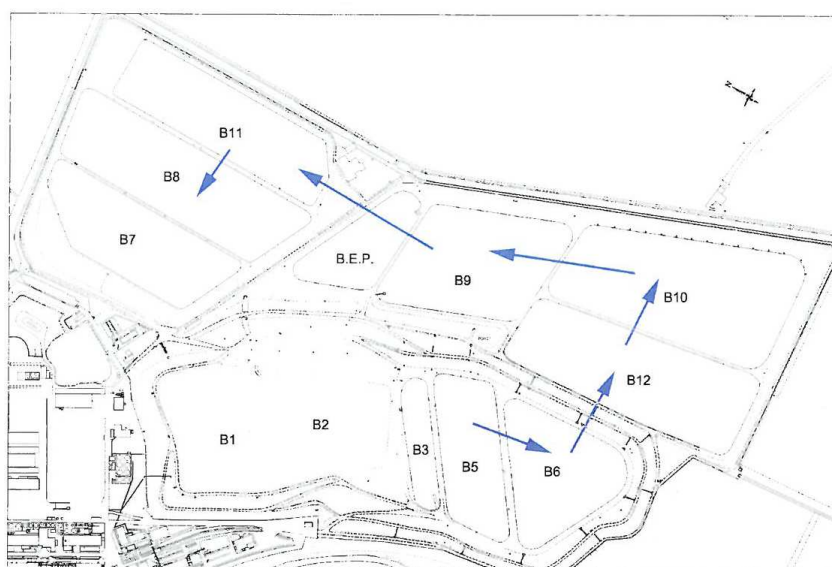


Schéma de circulation des effluents

La conversion de l'uranium sur le site Comurhex Malvézi génère chaque année des déchets, qui pourraient représenter un volume de 200 à 300 000 m³ de boues supplémentaires à l'horizon 2050. Afin d'optimiser les volumes, AREVA travaille actuellement sur un projet destiné à réduire le volume des déchets solides à entreposer : les boues de décantation seraient ainsi déshydratées (par filtration) pour obtenir une siccité de l'ordre de 60%. A l'horizon 2030, les volumes supplémentaires à gérer issu du fonctionnement à venir des installations (à procédé et capacité inchangés) sont ainsi évalués à 88 000 m³ de résidus solides de procédé filtrés.

Cet ensemble de déchets présente une large gamme d'activités massiques, sensiblement inférieures à 100 Bq/g pour les mélanges boues/matériaux, les déchets solides du traitement thermique des nitrates et les terres marquées, et au-delà de ce seuil (jusqu'à 500 Bq/g pour l'activité totale moyenne) pour les boues, actuellement présentes dans les bassins de décantation, ou à produire par déshydratation.

Au total, c'est donc un volume proche du million de m³ de déchets qui sera à gérer à terme. Il est à noter que les radionucléides artificiels issus de la conversion de l'URT représentent 1% de l'activité totale des boues entreposées sur B1 et B2. Outre la présence de radioactivité artificielle, les boues des bassins B1 et B2 sont marquées radiologiquement essentiellement par l'uranium mais aussi par le thorium, à des niveaux incompatibles avec les spécifications d'acceptation pour un stockage au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires).

La majorité des déchets solides sont entreposés dans quatre bassins :

- les anciens bassins B1 et B2, actuellement asséchés, dont la situation administrative est en cours de régularisation compte tenu de la présence de radioactivité artificielle à un niveau les soumettant au régime des INB (instruction en cours du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB ECRIN (Entreposage Confiné de Résidus Issus de la coNversion) ;
- les actuels bassins de décantation B5 et B6, en exploitation et relevant du régime des ICPE (rubrique 1735).

Dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, Comurhex Malvési a transmis fin 2011 un rapport d'étape portant sur une solution de gestion sûre à long et court terme des déchets entreposés sur le site.

Gestion à court terme

Dans son rapport, Comurhex Malvési prévoit d'aménager l'emplacement des actuels bassins B3, B5 et B6 en une succession d'alvéoles accueillant les déchets à produire par l'installation. Cet aménagement nécessite au préalable la vidange des boues déjà produites vers les bassins B1 et B2. A cette fin, Comurhex Malvési prévoit sur l'entreposage ECRIN, la création d'un alvéole d'entreposage des boues filtrées provenant de B5 et B6. De plus, l'entreposage ECRIN sera couvert pour éviter des transferts par infiltration d'eau.

Gestion à long terme

Compte tenu des volumes de déchets, de leur diversité physico-chimique et radiologique et de l'absence de filière de gestion des déchets à vie longue, le rapport d'étape de Comurhex Malvési présente une démarche commune de gestion à long terme pour les déchets déjà entreposés et ceux à produire, et s'oriente vers l'évaluation de plusieurs concepts de stockage à long terme sur site. Comurhex Malvési présente également un programme d'investigation permettant de compléter l'évaluation de la faisabilité d'un tel stockage sur site et précisant la caractérisation des déchets et la géologie du site de Malvési.

2.1.4 Les anciens stockages de déchets à radioactivité naturelle renforcée

Plusieurs dizaines d'entreposages de déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée 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, et pour certains encore valorisables. Par ailleurs, certains travaux d'aménagement 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 de la situation de ces sites, complété par un inventaire des dépôts de cendres des centrales thermiques et de phosphogypses a été réalisé pour l'ASN par l'association Robin des Bois²⁵ en 2005 et 2009, dénombrant une cinquantaine de sites (46 sites de dépôts de cendres et 5 sites de dépôts de phosphogypses). Parmi les sites recensés, la plupart ne sont plus exploités et sont soit réaménagés, soit déstockés (valorisation) : ils sont donc considérés comme des stockages historiques de déchets à radioactivité naturelle renforcée. Une dizaine est encore exploitée dans le cadre de la valorisation des cendres. En ce qui concerne les sites de stockages de résidus issus de la production d'alumine à partir de bauxite, cinq sites sont recensés dans la région

²⁵ Les rapports établis par Robin des Bois sont disponibles sur le site www.robindesbois.org rubrique « la radioactivité naturelle technologiquement renforcée » et « les cendres de charbon et les phosphogypses ».

Provence-Alpes Côte d'Azur à Vitrolles, Aygalades, La Barasse Saint Cyr, La Barasse Montgrand et Gardanne (seul site encore en activité et exploité par la société RIO TINTO ALCAN).

L'arrêté du 25 mai 2005, demande aux exploitants des installations relevant d'une catégorie d'activité professionnelle mentionnée en son annexe 1 (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 2007, EDF et E.ON France (ex. SNET) ont remis chacun une étude générique sur l'impact radiologique des sites de stockage des cendres de combustion des centrales thermiques montrant aussi bien pour les populations que pour les travailleurs, qu'aucune dose ne dépassait la limite de 1 mSv/an fixée à l'article R.1333-8²⁶ du code de la santé publique pour l'exposition de la population résultant des activités nucléaires, en France.

Dans son avis du 7 novembre 2008 sur le suivi radioécologique des eaux autour des installations nucléaires et sur la gestion des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs, le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, recommande de « favoriser la connaissance des marquages » et que « l'information sur la surveillance des eaux souterraines des INB, INBS et des sites où ont été entreposés des déchets s'intéresse aussi bien aux substances chimiques que radiologiques ».

La circulaire du 18 juin 2009 relative à la mise en œuvre des recommandations du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire 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).

Dans ce cadre et afin de confirmer les résultats des études génériques (montrant que la dose pour les populations et les travailleurs reste inférieure à 1 mSv/an) les pouvoirs publics ont demandé aux exploitants actuels des centrales thermiques à charbon, la réalisation de 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 de cendres de combustion des centrales thermiques sur les différents sites. Enfin, en ce qui concerne la voie d'exposition atmosphérique, ce contrôle prévoit une analyse des envols de poussières pour les sites où ce risque est susceptible de se présenter.

Pour l'application de ces prescriptions, l'avancement des campagnes de prélèvement des différents exploitants est, pour :

- les anciens dépôts de cendres de charbon relevant de la responsabilité d'EDF, scindée en trois catégories :
- une catégorie comprenant les sites prioritaires (Blénod, La Maxe, Bouchain, Le Havre et Cordemais) devant faire l'objet d'une analyse des eaux souterraines à très court terme. Les conclusions ont été rendues et montrent l'absence d'anomalie particulière ;
- une catégorie comprenant les sites sur lesquels l'exploitation a cessé (Champagne-sur-Oise, Vaires-sur-Marne, Allennes-les-Marais, Pont-sur-Sambre, Beautor, Saint-Leu-d'Esserent). Pour ces sites les analyses sont conduites en décalé par rapport aux cinq précédents sites. Les conclusions ont été rendues aux DREAL/DRIEE mi-2012 et sont en cours d'analyse ;
- une catégorie comprenant les autres sites (absence de cendres, l'exploitant n'est plus propriétaire ...) pour lesquels les analyses seront menées ultérieurement ;

²⁶ 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.

- pour les anciens dépôts de cendres de charbon relevant de l'exploitant E-ON/SNET, les campagnes de mesure ont été réalisées et montrent l'absence d'anomalie particulière ;
- pour les autres exploitants Azko-Nobel, Colas, Surchiste, Vermeulen-SA, qui, pour certains, valorisent les cendres, il leur a été demandé de déployer la même démarche (certaines études sont en cours, d'autres ont déjà été transmises et sont en cours d'instruction).

Pour les quatorze anciens sites ayant relevé de la responsabilité de Charbonnages de France, cinq sites du Nord-Pas-de-Calais (Choques, Dechy, Fouquereuil, Fouquières-les-Lenz, Hallicourt) ont fait l'objet, en septembre 2010, d'une étude effectuée par le BRGM et l'IRSN. L'étude a consisté en l'évaluation de l'impact radiologique des stockages de cendres (BRGM/RP-58941-FR²⁷). Elle a conduit à établir que l'impact radiologique associé aux stockages de cendres sur les sites examinés est négligeable et qu'il n'a pas été mis en évidence un éventuel transfert de pollution vers les eaux souterraines. Enfin, pour les neuf autres sites, pour lesquels il n'existe plus d'exploitant identifié, la DGPR a demandé le 1^{er} mars 2012 au BRGM et à l'IRSN de mettre en œuvre des actions destinées à rechercher les éventuelles pollutions radioactives liées à la présence de cendres de charbon. Une hiérarchisation des sites, en fonction notamment des enjeux, du volume du dépôt, des modes de transfert, a été dans un premier temps proposée par le BRGM et l'IRSN. Elle a conduit à retenir cinq sites prioritaires (Viviez, Susville, Montceau-les-Mines, Sarreguemines, Laval-Pradel) sur lesquels un programme de caractérisation de terrain est en cours. Les conclusions de l'étude doivent être transmises à l'administration début 2013.

Par ailleurs, 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, Wattrelos), pour lesquels une surveillance radiologique, notamment sur les eaux souterraines est actuellement entreprise.

2.1.5 Perspectives²⁸

Les déchets radioactifs ont fait l'objet de modalités de gestion qui ont évolué et certains déchets ont été stockés, au sein, ou à proximité de sites de production. Ils ont également pu, dans certains cas, être utilisés comme remblais ou gérés au sein de filières dédiées à la gestion des déchets conventionnels.

L'inventaire des stockages de déchets radioactifs a été consolidé grâce aux actions menées par les pouvoirs publics ainsi que par l'Andra dans le cadre de la mise à jour de l'Inventaire national, qui recense les stockages historiques de déchets radioactifs. **Cet inventaire nécessite d'être tenu à jour et complété par les investigations qui se poursuivent par AREVA, le CEA et EDF sur ou à proximité de certaines installations. Un bilan des investigations menées devra être fourni pour le 31 décembre 2014 et les stockages historiques qui seraient découverts déclarés à l'Inventaire national. Les stratégies de gestion retenues devront également être précisées.** Elles devront privilégier une gestion dans les filières existantes ou en projet, en particulier lorsque les quantités et la nature des déchets le permettent. Pour les modes de gestion *in situ*, à l'instar des mesures mises en œuvre sur les stockages historiques identifiés, une surveillance temporaire devra être mise en place ou maintenue le cas échéant, afin de détecter un marquage éventuel de l'environnement. Par ailleurs, des dispositions devront être mises en œuvre pour conserver la mémoire de la présence de ces déchets.

²⁷ 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 ».

²⁸ L'avis n°2012-AV-0166 du 4 octobre 2012 sur la gestion des situations temporaires ou 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 »

Pour le cas de l'établissement Comurhex Malvési, il est prématuré de ne retenir qu'une solution unique pour la gestion des déchets générés par l'établissement et il convient de distinguer la gestion à long terme des déchets déjà produits, de la gestion des déchets à produire d'ici 2050. Ainsi, Comurhex devra poursuivre notamment :

- les caractérisations des déchets déjà produits et des résidus miniers présents sous les bassins de décantation B3 à B6 afin d'affiner l'inventaire radiologique et chimique des déchets à gérer ;
- les études de faisabilité des options de stockage des déchets déjà produits en subsurface, en s'assurant notamment de la disponibilité d'une profondeur et d'un volume suffisants pour envisager le stockage de ces déchets dans des conditions satisfaisantes. Le calendrier des études et investigations nécessaires sera présenté avant le 31 décembre 2013.

2.2 La gestion des résidus de traitement minier et stériles miniers

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 25 départements français. Le traitement des minerais a été effectué dans huit usines. L'exploration et l'exploitation des mines d'uranium ont généré :

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

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. Ces sites de stockages 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 2010-2012 ont ainsi plus particulièrement permis :

- d'acquérir des bases nécessaires à l'évaluation de la stabilité des digues et à la définition des niveaux d'exigence associés ;
- d'améliorer les connaissances relatives à la modélisation du radon pour les scénarios de résidence sur le stockage, et de manière plus générale, de confirmer la pertinence des évaluations issues de modélisations par la comparaison de leurs résultats à des mesures de surveillance.

Concernant les stériles miniers, AREVA poursuit le recensement des lieux de leur réutilisation dans le domaine public engagé depuis 2009, afin d'identifier les éventuelles incompatibilités entre la présence de ces stériles et l'usage public des lieux concernés. En outre, l'impact dosimétrique à long terme des verses à stériles a été réévalué pour mieux prendre en compte les concentrations en radon.

Concernant le traitement des eaux et l'impact des rejets issus des anciens sites miniers, les études ont permis d'apprécier les impacts associés aux différentes substances rejetées. Ainsi, la prise en compte des impacts chimiques et radiologiques sur l'homme et l'environnement montre la nécessité de rechercher des solutions de traitement permettant de limiter les rejets d'uranium et de baryum.

Ces différentes études nécessitent d'être poursuivies dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 afin de compléter l'évaluation à long terme des risques d'exposition des populations et la tenue 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, la nouvelle démarche mise en œuvre en application de la circulaire du Ministère du développement durable et de l'ASN du 22 juillet 2009 doit être poursuivie.

La démarche de concertation doit aussi se poursuivre avec les parties prenantes associées.

2.2.1 Contexte et enjeux

2.2.1.1 Contexte général

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 ont concerné environ 250 sites en France de dimension très variable répartis sur 25 départements (de simples travaux de reconnaissance à des chantiers d'exploitation de grande ampleur). Le traitement des minerais a été effectué principalement dans huit usines.

Tous ces sites sont décrits dans l'inventaire national des sites miniers d'uranium « MIMAUSA » (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) élaboré par l'IRSN²⁹ à la demande du ministère en charge de l'environnement. Le premier inventaire a été publié en avril 2004 et mis à jour en septembre 2007. Il a été plus récemment complété par la mise en ligne d'une base de données cartographiques qui répertorie des informations plus complètes.

On peut distinguer deux catégories de produits issus de l'exploitation des mines d'uranium :

- **les stériles miniers** qui désignent les produits constitués des sols et roches excavés pour accéder aux minéralisations d'intérêt. On distingue d'une part les stériles francs dont la teneur moyenne en uranium correspond à la teneur caractéristique du bruit de fond naturel ambiant (situé à titre d'exemple entre 15 et 100 ppm dans le Limousin), et d'autre part les stériles de sélectivité constitués par des roches minéralisées excavées lors de l'exploitation d'un gisement mais présentant des teneurs insuffisantes pour justifier un traitement sur le plan économique (teneurs inférieures à 300 ppm). Le volume des stériles miniers extraits peut être évalué à 167 millions de tonnes ;
- **les 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), leur volume peut être évalué à 50 millions de tonnes.

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, utilisés pour les travaux de réaménagement en couverture des stockages de résidus ou placés en tas sous forme de versers. Des stériles miniers de teneur inférieure à 100 ppm ont pu être utilisés comme matériaux de remblai, de terrassement ou en tant que soubassements routiers sur des lieux situés à proximité des sites miniers. Leur volume est estimé être de 1 à 2 % des volumes de stériles extraits des sites, soit environ 2 millions de tonnes.

Les résidus de traitement sont stockés sur dix-sept sites. Il s'agit de déchets de type TFA ou FAVL. Il existe deux types de résidus de traitement du minerai caractérisés par leurs activités massiques :

- **les résidus de traitement de minerais à faible teneur** (de l'ordre de 300 à 600 ppm d'uranium) avec une activité massique moyenne totale de 44 Bq/g (dont environ 4 Bq/g de radium 226). Ces résidus, issus de la lixiviation statique (environ 20 millions de tonnes) sont stockés soit en versers, soit en mines à ciel ouvert, soit utilisés comme première couche de couverture des stockages de résidus de traitement de lixiviation dynamique ;
- **les résidus de traitement de minerais à forte teneur moyenne** (de l'ordre de 1 000 à 10 000 ppm (ou 0,1 à 1 %) d'uranium dans les mines françaises) avec une activité massique moyenne totale de 312 Bq/g (dont environ 29 Bq/g de radium 226). Ces résidus, issus de la lixiviation dynamique (environ 30 millions de tonnes), sont stockés 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.

²⁹ La base MIMAUSA 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 »

Les sites de stockage de résidus de traitement miniers ont tous été installés à proximité des installations de traitement de minerai d'uranium. Ces stockages d'une superficie de un à quelques dizaines d'hectares renferment quelques milliers à plusieurs millions de tonnes de résidus.

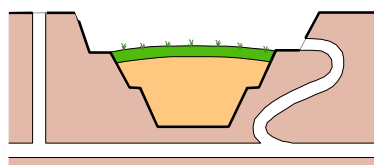
Avec la fermeture progressive des sites d'extraction minière, une série d'actions a été engagée par les pouvoirs publics en vue de définir et d'appliquer une doctrine en matière de réaménagement des stockages. Tout d'abord en 1986, une note d'instruction technique relative aux installations de traitement des minerais d'uranium définit les modalités d'exploitation applicables à ces installations. En 1993 le rapport Barthélémy – Combes intitulé « Déchets faiblement radioactifs - 1^{ère} partie : stockage de résidus de traitement de minerai d'uranium », élaboré à la demande du ministre en charge de l'environnement, définit les objectifs et les conditions techniques de réaménagement des stockages. En décembre 1998, l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN, devenu depuis l'IRSN) élabore la doctrine de réaménagement des stockages de résidus et en 2001 la méthodologie pour l'évaluation de l'impact radiologique des stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium³⁰. Ce document est complété, en 2001, par une méthodologie d'évaluation de la stabilité des digues ceinturant certains stockages de résidus élaborée par le BRGM. En 2003, un rapport du Conseil supérieur d'hygiène publique de France a repris l'histoire des sites de mines et émis des recommandations concernant la prise en charge d'études de santé des personnes vivant autour des sites miniers d'uranium³¹. En 2005, un groupe d'expertise pluraliste (GEP) est créé avec pour mission « d'apporter un regard critique sur les diverses études techniques, environnementales et formuler des recommandations visant à réduire les impacts des sites miniers sur les populations et de l'environnement ». Son rapport a été remis en 2010³².

Ainsi, 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 de limiter les risques d'intrusion, d'érosion, de dispersion des produits stockés ainsi que ceux liés à l'exposition externe et interne (radon) des populations alentours. L'objectif de réduction du niveau d'exposition, requis notamment en application du principe d'optimisation, a été pris en compte lors de la phase de réaménagement. L'accès à ces sites de stockage de résidus est néanmoins interdit au public.

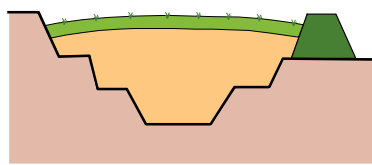
³⁰ Le rapport IPSN-DPRE/SERGD/01-53 de novembre 2001 est disponible sur le site internet www.irsn.fr, rubrique « base de connaissance », « environnement », la surveillance de l'environnement, « les sites miniers d'uranium » est disponibles sur le site internet du GEP <http://www.gep-nucleaire.org>, rubrique « fonds documentaire ».

³¹ Le rapport du Conseil supérieur d'hygiène publique de France, « Les sites miniers d'uranium », juin 2003 est disponible sur le site internet www.hcsp.fr, rubrique « avis et rapport ».

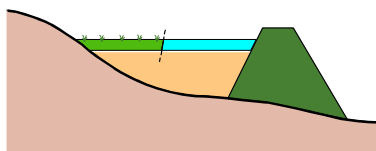
³² Rapport GEP « Recommandations pour la gestion des anciens sites miniers d'uranium en France Des sites du Limousin aux autres sites, du court aux moyen et long termes » juin 2010 est disponibles sur le site internet du GEP <http://www.gep-nucleaire.org>, rubrique « fonds documentaire ».



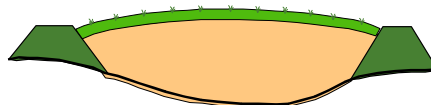
M.C.O. (+ T.M.S)
REPLISSAGE TOTAL OU PARTIEL
(Ex : Bellezane - Cellier)



M.C.O. + DIGUE
REPLISSAGE TOTAL
(Ex : Brugeaud - Montmassacrot - Lodève)



THALWEG BARRE PAR DIGUE
REPLISSAGE TOTAL
(Ex : Forez - Bertholène)



DEPRESSION + MERLON OU DIGUE DE CEINTURE
REPLISSAGE TOTAL
(Ex : Ecarpière - Jouac - Lavaugrasse)

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 avant l'exploitation des mines ou les terrains ont parfois été réaménagés pour de nouveaux usages. A titre d'exemple, une mine à ciel ouvert ennoyée après arrêt de l'exploitation a pu être réaménagée en plans d'eau de loisirs.

2.2.1.2 Cadre réglementaire

Les mines d'uranium et leurs dépendances relèvent du code minier. La police des mines est essentiellement orientée vers l'exploitation et les risques miniers conventionnels. Elle encadre également les conditions de fermeture des sites. L'exploitation des mines françaises repose sur un régime de concessions et de permis d'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 1955 à 1977, ont une durée dont l'échéance est fixée au 31 décembre 2018³³.

Les résidus de traitement minier sont considérés comme des résidus industriels soumis aux dispositions prévues par le titre 1^{er} du livre V et notamment par l'article R 511-9 du code de l'environnement relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement. Les sites de stockages de résidus miniers relèvent ainsi du régime d'autorisation au titre de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Les plans de prévention des risques miniers (article L. 174-5 du code minier), introduits par la loi du 30 mars 1999, constituent un outil de maîtrise de l'urbanisation des communes affectées par les conséquences résiduelles d'anciennes exploitations minières. Ils ont pour objet de délimiter les zones exposées aux risques miniers en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru. A ce jour, aucun ancien site minier d'uranium n'a fait l'objet de la mise en place d'un plan de prévention des risques miniers.

³³ A 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 16/06/1977 portant modification du code minier sont des concessions à durée limitée.

Dans le cadre du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 et du décret n°2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du PNGMDR, AREVA a remis des études relatives à l'évaluation de l'impact à long terme sur la santé et l'environnement des stockages de résidus de traitement miniers (caractérisation physico-chimique des résidus, tenue géo-mécanique des digues et impact radiologique à long terme des stockages) ainsi que des anciens sites miniers d'extraction (gestion des rejets diffus et traitement des eaux, impact à long terme des stériles miniers).

Enfin, concernant la gestion et le contrôle des anciens sites miniers d'uranium, le Ministère chargé de l'écologie 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 notamment de bilans environnementaux) ;
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.

2.2.1.3 Les travaux du groupe d'expertise pluraliste du Limousin

Un groupe d'expertise pluraliste sur les mines d'uranium du Limousin (GEP)³⁴ a été mis en place en 2006 par le ministère chargé de l'écologie, le ministère chargé de la santé et l'Autorité de sûreté nucléaire afin d'intensifier l'effort de dialogue et de concertation autour des anciens sites miniers d'uranium du Limousin. La démarche du GEP a été engagée sur la base d'une analyse détaillée de certains sites du Limousin pour développer une vision plus large de la situation des anciens sites miniers d'uranium en France. Le 15 septembre 2010, le GEP a rendu au ministre en charge de l'écologie et au président de l'ASN son rapport final et ses recommandations pour la gestion des anciens sites miniers d'uranium en France pour les court, moyen et long termes.

Dans son rapport, le GEP indique qu'il a pris connaissance des difficultés issues de la gestion historique des sites miniers et a noté les progrès importants accomplis ces dernières années sur ce sujet, au niveau du Limousin comme au niveau national. Le GEP considère que ces progrès doivent être poursuivis et généralisés pour disposer, à l'horizon d'une dizaine d'années, d'une perspective claire de gestion durable de ces sites. La stratégie à mettre en place pour y parvenir devra intégrer les différentes dimensions (technique, institutionnelle, sociétale) de la problématique et être partagée avec les acteurs locaux et intégrer les spécificités territoriales.

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.

³⁴ Le GEP limousin a 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.

2.2.1.4 Les enjeux liés au réaménagement des anciens sites miniers d'uranium

Plusieurs enjeux sont associés au réaménagement des anciens sites miniers d'uranium³⁵ :

- 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.

Il apparaît néanmoins utile de rappeler que même si certains sites ont été réaménagés, il peut rester nécessaire de poursuivre le traitement des eaux collectées avant leur rejet. La réduction des rejets diffus et l'amélioration du traitement des eaux, en privilégiant les « techniques douces³⁶ », 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 et les lacs.

2.2.1.5 Les enjeux de la gestion à long terme des sites de stockage de résidus de 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 déchets produits et après vérification que les dispositions mises en œuvre permettent de limiter aussi raisonnablement que possible l'impact à long terme. C'est pourquoi il apparaît essentiel d'évaluer l'impact à long terme des sites de stockage de résidus miniers.

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. A cet effet, le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et l'ASN ont constitué en 2012, un groupe de travail pour prendre en compte ces recommandations.

2.2.1.6 Les enjeux : la réutilisation des stériles miniers dans le domaine public

Si depuis 1984, la cession des stériles dans le domaine public a été tracée pour les sites exploités par 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 de garantir 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'écologie du 22 juillet 2009. Les actions correspondantes en cours sont détaillées au § 2.2.4.1.

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/an³⁷ pour les

³⁵ 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.

³⁶ Technique sans apport chimique ou à faible impact sur le milieu environnant.

³⁷ Pour mémoire dans le cadre d'« activités nucléaires », la valeur réglementaire fixée par le code de la santé publique est de 1 mSv/an ajouté à la radioactivité naturelle.

scénarios et les hypothèses de teneur en uranium retenues. Ces résultats ne tiennent toutefois pas compte de l'exposition au radon pour les constructions érigées sur des terrains remblayés par des stériles. Néanmoins, les évaluations nécessitent d'être vérifiées sur la base des données recueillies dans le cadre de la campagne de recensement des lieux de réutilisation des stériles actuellement en cours sur l'ensemble du territoire français et les situations d'incompatibilité d'usage devront être traitées le cas échéant.

2.2.2 Gestion des anciens sites d'extraction minière

2.2.2.1 La surveillance des anciens sites d'extraction minière

Dans le cadre du plan d'actions mines mis en place en 2009 par le ministère chargé de l'écologie et l'ASN, et afin d'améliorer la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et leur surveillance, AREVA doit réévaluer, à travers la réalisation de bilans environnementaux départementaux, la surveillance environnementale de tous les sites miniers (y compris leurs annexes comme les stations de traitement des effluents, et les stockages de résidus et de stériles...) pour, au besoin, l'améliorer et l'adapter au contexte actuel. AREVA devra également poursuivre la réhabilitation des anciens sites qui le requièrent dans l'objectif de leur parfaite intégration dans leur environnement local et sur le long terme. Les études d'inventaire en cours dans le cadre du projet MIMAUSA et l'analyse des risques résiduels dans le cadre du plan d'action mines pourront conduire si nécessaire à des travaux complémentaires de réaménagement des sites par AREVA et s'accompagner le cas échéant de restrictions d'usage.

2.2.2.2 La gestion des rejets diffus et de traitement des eaux

Il convient de réduire les rejets diffus et d'améliorer le traitement des rejets (en privilégiant les « techniques douces »), en particulier au regard de l'impact sur les milieux environnants. La Commission Nationale d'Evaluation relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs souligne néanmoins dans son rapport de juin 2009, qu'il apparaît peu envisageable d'améliorer l'efficacité du traitement des eaux tel que réalisé actuellement dans chacune des stations de traitement. Ce traitement physico-chimique nécessite l'utilisation de substances chimiques conduisant à des rejets dans l'environnement aquatique (baryum, aluminium). L'incidence de cet apport doit être examinée même si ces substances chimiques se trouvent déjà naturellement dans l'environnement aquatique et même si l'aluminium présente des teneurs naturellement assez importantes dans les cours d'eau en milieu granitique.

Dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, une évaluation des pratiques actuelles de traitement des eaux des sites miniers et des rejets liquides associés a été réalisée par AREVA en janvier 2012, en prenant en compte l'ensemble des risques chimiques et radiologiques (aluminium, baryum, radium, uranium) et leurs impacts.

Aujourd'hui, quatorze stations de traitement des eaux sont en fonctionnement sur les anciens sites miniers français d'uranium. Dix³⁸ utilisent en fonctionnement normal des procédés de précipitation-décantation physico-chimiques. Une évaluation de l'efficacité de ces traitements montre des rendements satisfaisants et leur capacité à s'adapter aux variations de débits et de caractéristiques géochimiques des eaux, ce qui en fait le seul traitement réellement dynamique. Outre les besoins humains et financiers qu'ils nécessitent pour leur fonctionnement et leur maintenance, le principal inconvénient de ces techniques de traitements réside en la production de

³⁸ Six dans le Limousin (site industriel de Bessines, Bellezane, Le Fraisse, Augèree, Silord, le Bernardan), deux en Pays de Loire (l'Ecarpière, La Baconnière), une en Rhône-Alpes (Les Bois Noirs) et une en Midi-Pyrénées (Bertholène).

volumes importants de boues qui nécessitent une gestion de stockage appropriée. Seul un site³⁹, dont les teneurs en uranium des eaux sont nettement plus élevées, présente un procédé de traitement actif par colonne de résines échangeuses d'ions permettant une valorisation de l'uranium.

Ainsi, les résultats fournis par AREVA pour la période de 2001 à 2010, confirment que les concentrations en radium 226 et en uranium dissous obtenues dans les eaux rejetées à la sortie des sept stations de traitement physico-chimiques étudiées permettent de respecter les limites fixées par arrêté préfectoral, lesquelles sont dans certains cas plus contraignantes que les valeurs limites fixées par la Réglementation Générale des Industries Extractives (RGIE). Dans certains cas, le respect de certaines exigences est obtenu avant la mise en œuvre des traitements. Toutefois, la stratégie à retenir pour l'évolution, l'arrêt ou le maintien du traitement des eaux nécessite d'être définie et justifiée.

AREVA a également engagé des recherches sur les procédés « passifs » alternatifs. Certains ont permis une amélioration continue des procédés de traitement avec notamment la mise en place de drains calcaires sur trois stations de traitement⁴⁰. Ils nécessitent cependant une maintenance régulière, ce qui constitue une contrainte forte pour la gestion à long terme des anciens sites miniers et renforce l'importance de connaître les perspectives d'amélioration naturelle dans le temps de la qualité des eaux.

Deux autres procédés alternatifs restent à l'étude. Le procédé du type « zone humide artificielle (wetland) », basé sur des mécanismes naturels présente des résultats d'essais encourageants. Cependant, il comporte des inconvénients tels que des performances sensibles aux conditions extérieures, à la charge hydraulique, à la composition de l'eau à traiter, induisant un fonctionnement discontinu, des incertitudes quant au devenir des déchets en fin de traitement et enfin semble inapproprié pour abaisser les teneurs en radium 226. Le procédé type « sorption sur des biomatériaux de type écorces d'arbres » nécessitera en outre de définir la filière d'élimination des écorces en cas d'industrialisation du procédé. Il est donc utile de poursuivre les recherches pour la mise en œuvre de procédés alternatifs opérationnels minimisant l'intervention humaine.

AREVA a également mené différentes évaluations de l'impact des rejets sur l'environnement et l'homme. Ainsi, à partir de l'évaluation des risques radiologiques sur les écosystèmes aquatiques de deux cours d'eau du Limousin, AREVA obtient avec la méthode ERICA⁴¹ des indices de risques⁴² inférieurs à 1, correspondant à un impact radiologique des rejets des eaux issues des anciennes mines d'uranium acceptable. L'évaluation quantitative de l'exposition radiologique des populations du fait des rejets des cinq cours d'eau retenus par AREVA dans son étude recevant les volumes d'eaux traitées les plus importants des sites miniers montre un respect de la limite de dose de 1 mSv/an susvisée pour les cinq scénarios étudiés (résidence, séjour sur berge, maraîchage, base de loisirs et entretien de site à proximité de cours d'eau) et en prenant les voies d'exposition externe et interne par ingestion et inhalation pour les différentes classes d'âges. Seul, le scénario « résidence » dans le cas d'un arrêt du traitement des eaux rejetées dans le Ritord présente une évaluation supérieure (de 1,2 à 5,2 mSv par an) pour les enfants de différentes classes d'âge.

L'évaluation quantitative des risques auxquels sont exposées les populations du fait des substances chimiques rejetées (aluminium, baryum et uranium) dans les effluents provenant de deux sites miniers dans la Gartempe et Le Ritord (Haute Vienne) indique que tous les indices de risque sont inférieurs à 1 pour la composante radiologique, traduisant ainsi un risque toxique acceptable pour ces cours d'eau. L'évaluation prend en compte un groupe de référence utilisant l'eau de la rivière

³⁹ Lodève en Languedoc Roussillon.

⁴⁰ Une en Languedoc Roussillon (Le Cellier), une en Auvergne (Cérilly) et une en Pays de Loire (Beaurepaire)

⁴¹ ERICA : Environmental Risk for Ionising Contaminants : Assessment and management

⁴² L'indice de risque est calculé comme la somme des rapports de la dose interne reçue par chaque type d'organisme et de la dose considérée comme protectrice pour ces organismes (PNEDr)

pour la consommation, l'abreuvement des animaux ou l'irrigation de jardin potager. Les concentrations ajoutées en baryum et en uranium sont par contre supérieures aux valeurs de 58 µg/l⁴³ pour le baryum et 5 µg/l pour l'uranium indiquées par AREVA pour juger de l'existence d'un impact possible sur les écosystèmes aquatiques dans le cas du Ritord.

Les diverses 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. A 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.

En parallèle de ces études, il apparaît nécessaire d'améliorer les connaissances relatives au marquage des sédiments lié aux quantités d'uranium et de radium rejetées dans le réseau hydrographique après traitement. Pour cela, AREVA doit préciser la relation entre les flux rejetés et l'accumulation de sédiments marqués dans les rivières et surtout les lacs, notamment par une étude sur un site de la spéciation de l'uranium dans les eaux et de la caractérisation radiologique fine des sédiments en fonction de leur granulométrie et en fonction du régime hydraulique des cours d'eau. La partie modélisation de cette étude sera achevée dans le cadre du PNGMDR 2013-2015.

2.2.3 Gestion à long terme des sites de stockages des résidus du traitement du minerai

2.2.3.1 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. Cette vérification 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.

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 sur un laps de temps suffisant et sur un nombre de sites représentatifs. Les travaux de recherche sur le long terme pourront donc s'échelonner jusqu'en 2020, des points d'étapes étant réalisés tous les trois ans à l'occasion des mises à jour du PNGMDR.

Les premières études rendues par AREVA dans le cadre de la mise en œuvre du PNGMDR 2007-2009 ont constitué un jalon déterminant dans la démarche de vérification de sûreté des stockages de résidus de minerais d'uranium. Elles ont permis de juger de l'état des connaissances sur les deux points essentiels que sont la caractérisation des résidus et la tenue des digues ceinturant certains stockages et de disposer d'une première indication des impacts attendus pour un scénario d'évolution normale des stockages ainsi que pour un jeu de scénarii d'évolutions dégradées.

Il est utile de préciser que la méthodologie de modélisation développée par AREVA 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

⁴³ Valeur correspondant à la NQE norme de qualité environnementale provisoire définie pour cet élément

couverture, construction d'une route, présence d'enfants jouant sur les résidus excavés. L'évaluation remise en 2008 correspond à une première application concrète de la démarche formalisée par la circulaire du ministre en charge de l'environnement du 7 mai 1999 relative au réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium. La méthode développée est par ailleurs cohérente avec l'approche mise en œuvre pour d'autres stockages de surface comme ceux de l'Andra, notamment au travers de l'étude des scénarios altérés de type chantier routier ou résidence sur le stockage. 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, les impacts dosimétriques, susceptibles d'être reçus par 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 importantes des stockages restent inférieurs à quelques dizaines de milli sieverts par an.

Les études complémentaires remises en janvier 2012 dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 ont permis d'améliorer l'évaluation du scénario de résidence sur le stockage grâce à une évolution de la modélisation des flux de radon pénétrant dans un bâtiment et issus des matériaux de soubassement, ainsi que d'examiner ponctuellement la pertinence de la modélisation au travers d'une comparaison des résultats qu'elle fournit et des données des mesures de surveillance.

S'agissant de la modélisation de l'entrée du radon dans un bâtiment, l'étude confirme l'influence forte du phénomène d'advection sur les résultats du calcul de dose ajoutée pour le scénario de résidence sur le stockage par rapport au phénomène de diffusion. L'analyse de sensibilité effectuée sur certains paramètres conduit par ailleurs AREVA à souligner l'influence prépondérante de la perméabilité du sol sous-jacent au bâtiment. Ces études conduisent à une réévaluation significative à la hausse de l'exposition par inhalation du radon dans un local fermé construit sur des résidus (ou des stériles).

S'agissant de la comparaison entre les résultats de modélisation et les données de surveillance, AREVA conclut d'une part, que les choix de modélisation retenus conduisent généralement à une surestimation des expositions et sont donc conservatifs, d'autre part que les différentes contributions mesurées aux points de surveillance traduisent essentiellement la variabilité du bruit de fond naturel. AREVA précise 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 et conduisent à considérer une origine naturelle aux différentes contributions à la dose totale.

Il est néanmoins utile de préciser que la démarche d'AREVA repose sur des mesures effectuées, pour l'essentiel, dans le cadre du réseau de surveillance, au niveau des groupes de populations demeurant dans l'environnement proche des sites à des distances généralement comprises entre 500 m et plus de 2000 m.

Le renforcement de la qualité des couvertures, qui, à la lumière des résultats des évaluations d'impact à long terme⁴⁴, apparaît sur plusieurs sites comme une solution potentiellement efficace, n'a pas fait l'objet d'étude complémentaire d'AREVA pour évaluer la faisabilité et la pertinence de ce renforcement éventuel sur l'ensemble des sites de stockage de résidus de traitement des minerais. En effet, à la vue des résultats des études complémentaires remises en janvier 2012, AREVA considère que ces études concluaient à une origine naturelle des différentes contributions à la dose totale et que les couvertures des sites sont donc suffisamment efficaces.

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, 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

⁴⁴ Etudes menées dans le cadre du PNGMDR 2007-2009.

PNGMDR 2010-2012 attendues pour fin 2012 visent à consolider la méthodologie utilisée, en complétant les éléments déjà transmis, en y intégrant les sites de stockage de résidus de traitement statique, afin de confirmer la possibilité de les extrapoler aux sites de stockage non étudiés. Elles devront également permettre d'approfondir la modélisation hydrogéochimique effectuée sur le site de Bellezane pour simuler le fonctionnement normal et quelques perturbations envisageables au cours de l'évolution du stockage. La possibilité de généraliser ces résultats aux sites de stockage de résidus de traitement des minerais n'ayant pas fait l'objet d'étude de caractérisation sur site devra être analysée.

2.2.3.2 La tenue à long terme des digues de rétention des sites de stockage de résidus de traitement minier

L'évaluation de la tenue des digues menée en 2009 par AREVA dans le cadre du PNGMDR 2007-2009 est cohérente avec le cadre méthodologique défini par le BRGM et indique en première approche une bonne stabilité des ouvrages.

Dans les études complémentaires 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'eau⁴⁵, à l'essorage progressif des résidus et à leur consolidation induite. AREVA tient désormais 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 qu'elle retient 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 sismique⁴⁶. 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.

Ainsi, les différents éléments produits par AREVA permettent désormais de disposer des bases nécessaires à la formalisation de la doctrine à suivre pour évaluer la stabilité géomécanique à long terme des digues et à la définition des niveaux d'exigences associés pour garantir la sûreté à long terme de ses stockages.

2.2.4 La gestion des stériles miniers

2.2.4.1 La réutilisation des stériles miniers dans le domaine public

Les stériles des anciennes mines d'uranium présentent des éléments radioactifs avec des teneurs variables généralement faibles mais parfois significatives. La réutilisation de ces stériles dans l'environnement peut conduire, au fil des ans, à ce que l'usage du sol ne soit plus compatible avec la présence de ces stériles (par exemple en cas de construction d'habitations à l'aplomb de tels remblais). Sans remettre *a priori* de manière systématique en cause les utilisations passées, il est important de recenser les lieux de réutilisation des stériles présentant des niveaux de radioactivité significativement plus élevés que le bruit de fond naturel et de vérifier la compatibilité des usages à l'aplomb et dans l'environnement immédiat des zones où des stériles ont été utilisés.

⁴⁵ Seul le site des Bois Noirs Limouzat présente une lame d'eau et un projet de remplacement par une couverture solide est en cours d'étude par AREVA

⁴⁶ 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.

Conformément à la circulaire du 22 juillet 2009 et à la lettre adressée le 12 juillet 2009 par la présidente d'AREVA au ministre en charge de l'environnement, un tel recensement est en cours de réalisation par AREVA et devrait être achevé au cours de l'année 2013. Toutes les situations d'incompatibilité d'usage devront être identifiées et gérées. A cet effet, AREVA a défini une méthodologie d'évaluation de la compatibilité des usages, afin d'identifier les zones d'utilisation de stériles dans le domaine public et parmi elles celles nécessitant des actions correctives. Cette méthodologie qui repose sur l'évaluation des doses efficaces ajoutées associées à sept scénarios génériques d'exposition⁴⁷, a fait l'objet d'une instruction par l'ASN et d'un courrier en date du 14 mai 2012. Cette méthode apparaît globalement pertinente et adaptée à la démarche de recensement à grande échelle. Les modalités de gestion des stériles qui pourraient être retirés, seront instruites par le ministère en charge de l'écologie.

AREVA a ainsi réalisé des campagnes de mesures héliportées autour des anciens sites miniers français entre novembre 2009 et fin 2010. Les régions survolées sont les départements de la Creuse, de la Haute Vienne, de la Corrèze, de la Saône et Loire, de l'Allier, du Puy de Dôme, de la Lozère, de la Loire, de la Nièvre, du Morbihan, de la Loire Atlantique, du Maine et Loire et de la Vendée. Les données ont ensuite été traitées statistiquement pour identifier des zones géographiques nécessitant une vérification au sol. Aucune situation nécessitant une intervention d'urgence n'a été identifiée à l'issue de ce traitement. La phase de reconnaissance et de vérification au sol a débuté en 2011 et s'échelonnait jusqu'à mi 2013. Le recensement des stériles en France ne pourra être connu qu'après achèvement de l'ensemble des actions de reconnaissance au sol. Dans chaque département concerné, les cartes de recensement obtenues seront présentées en CLIS puis mis à la disposition du public dans les communes concernées par cette réutilisation.

En parallèle, il sera vérifié que les usages des sols sont bien acceptables vis-à-vis de leur impact sanitaire. Enfin, en cas d'incompatibilité d'usage, des actions seront menées par AREVA en lien avec les pouvoirs publics.

2.2.4.2 La gestion de l'impact dosimétrique à long terme

La méthodologie d'évaluation de l'impact dosimétrique à long terme des stockages de résidus a été adaptée par AREVA au cas de la réutilisation des stériles miniers dans le domaine public et des verses à stériles dans le cadre des études remises en 2009. Dans le cas de la réutilisation des stériles miniers comme remblais dans le domaine public, les scénarios considérés correspondent aux cas rencontrés, à savoir chemin, cour de ferme, cour d'école et plateforme d'entreprise. Dans le cas des verses à stériles, quatre scénarios sont étudiés ; 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 teneur en uranium de 30, 60 et 100 ppm des stériles. Les doses calculées ainsi obtenues restent toutes inférieures à 1 mSv/an.

Les gammes de teneur et d'exposition effectivement rencontrées lors de la campagne de recensement menée dans le cadre de la circulaire du 22 juillet 2009, devront permettre de confirmer ou le cas échéant de redéfinir les scénarios d'exposition.

La principale évolution introduite par AREVA dans le document relatif à l'utilisation de stériles miniers dans le domaine public, élaboré en application du PNGMDR 2010-2012, concerne les modalités de calcul des concentrations du radon à l'intérieur du local fermé supposé bâti sur les stériles pour le scénario « plateforme d'entreprise ». Cette évolution, identique à celle introduite

⁴⁷ Deux scénarios dans des lieux intérieurs (habitation, entreprise) et cinq scénarios dans des lieux extérieurs (route ou chemin, cour d'habitation, cour de ferme, zone de loisirs, zone publique telle que parking).

dans la méthode d'évaluation de l'impact dosimétrique à long terme des stockages de résidus conduit à une réévaluation significative à la hausse de l'exposition par inhalation du radon.

Le rapport de juin 2009 de la CNE précise que les stériles utilisés dans les couvertures ou les verses n'évoluent que peu chimiquement. Les différences existant entre les stockages de résidus de traitement et de stériles conduisent à établir un modèle spécifique de caractérisation des stériles, qui sera appliqué au cas de verses choisies pour leur représentativité. AREVA poursuivra ensuite sur 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 stockage et qui ont été développés pour les stockages de résidus.

2.2.5 Perspectives⁴⁸

2.2.5.1 La gestion des rejets issus des anciens sites miniers et le traitement des eaux

Les nouveaux éléments transmis par AREVA relatifs au traitement des eaux et l'impact des rejets constituent un état des lieux des pratiques de traitement et de leurs impacts radiologiques et chimiques sur l'homme et l'environnement. Les résultats obtenus, tant pour les substances radiologiques que chimiques (uranium, baryum et aluminium) montrent la nécessité d'engager une réflexion sur la pertinence des traitements actuels pour chacun des anciens sites miniers et d'examiner les conditions pour les faire évoluer ou les arrêter.

En conséquence AREVA devra poursuivre et approfondir 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 sur les anciens sites miniers relevant de sa responsabilité. La stratégie retenue devrait en particulier être justifiée au regard :

- a. 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 ;
- b. de l'objectif de réduction de l'impact global des rejets sur l'homme et l'environnement. L'impact chimique associé aux différentes substances rejetées, y compris celles liées aux procédés de traitement des eaux, sera en particulier pris en compte ;
- c. des contraintes de gestion et d'élimination des boues et des déchets associées aux divers procédés mis en œuvre ou étudiés ;
- d. des contraintes de maintenance des procédés envisagés et les priorités de déploiement des solutions alternatives possibles.

Un bilan d'étape sera transmis par AREVA fin 2014. Il apportera les réponses aux points c et d (ci-dessus) pour l'ensemble des sites ainsi qu'aux points a et b (ci-dessus) pour quelques sites choisis. L'étude finale sera remise dans le cadre du PNGMDR 2016-2018.

Par ailleurs, il apparaît utile d'initier une réflexion au sein du groupe de travail du PNGMDR relative au choix de poursuivre (en améliorant autant que nécessaire les traitements) ou de mettre fin à un traitement 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. Cette réflexion pourra être copilotée par l'ASN et la DGPR.

⁴⁸ L'avis n°2012-AV-0168 du 11 octobre 2012 sur l'évaluation du dossier de l'impact des résidus miniers d'uranium et de 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 ».

AREVA devra également préciser pour le 31 décembre 2013 la relation entre les flux rejetés et l'accumulation de sédiments marqués dans les rivières et surtout les lacs, notamment par une étude sur un site de la spéciation de l'uranium dans les eaux et de la caractérisation radiologique fine des sédiments en fonction de leur granulométrie et en fonction du régime hydraulique des cours d'eau.

2.2.5.2 La gestion à long terme des stockages de résidus de traitement miniers d'uranium

L'impact dosimétrique à long terme des sites

Les études remises ont permis d'améliorer les connaissances relatives au scénario « résidence » sur le stockage à partir de la modélisation des flux de radon pénétrant dans un bâtiment et issus des matériaux de soubassement, ainsi que de vérifier ponctuellement la pertinence de la modélisation par rapport aux données des mesures de surveillance.

La variabilité du fond naturel (anomalie de débit de dose ou en radon) est un élément d'interprétation pour expliquer les différences entre les résultats de la modélisation et ceux de la surveillance. L'influence prépondérante de cette variabilité dans les situations rencontrées sur les sites devra être confirmée. **AREVA devra ainsi poursuivre et généraliser pour le 30 novembre 2014, la démarche de comparaison entre données de terrain et résultats de modélisation, dans l'objectif d'améliorer la pertinence et l'utilité de son dispositif de suivi des sites et de renforcer la confiance dans ses résultats de calcul.**

Aucun élément n'a été transmis par AREVA sur les besoins de renforcement éventuels des couvertures de certains stockages de résidus. **Sans préjudice d'éventuelles actions locales, AREVA devra réexaminer ce point pour le 30 novembre 2014 à la lumière notamment des nouvelles connaissances acquises sur le comportement à long terme des stockages et de l'interprétation des résultats de la surveillance.**

La tenue à long terme des digues

Les nouveaux éléments transmis constituent une amélioration notable de la démarche d'évaluation retenue par AREVA. Cette démarche doit être poursuivie et **AREVA devra compléter pour le 30 novembre 2014 son évaluation par une étude de sensibilité de la stabilité des digues en fonction de la période de retour visée (à savoir 30 000 ans) et du niveau d'aléa sismique associé.**

En parallèle, l'ASN et la DGPR piloteront un groupe de travail, pour élaborer la doctrine d'évaluation de la tenue à long terme des digues ceinturant les stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium, sur la base des études déjà transmises à ce sujet par AREVA.

En complément du travail de formalisation d'éléments de doctrine, il apparaît nécessaire d'engager dès maintenant la constitution d'un dossier géotechnique (géologie, géotechnique, hydrogéologie) complet pour chaque digue des sites de stockage de résidus de traitement minier, afin d'apprécier de manière plus précise les vulnérabilités potentielles mises en évidence par l'évaluation générique produite par AREVA. **AREVA transmettra aux DREAL et divisions de l'ASN les dossiers qui les concernent.**

Cette revue, en lien avec le bilan environnemental, doit permettre à AREVA de dresser un constat de l'état physique des ouvrages et d'indiquer les parades et mesures compensatoires qu'il conviendrait de mettre en œuvre en fonction de l'évolution des phénomènes susceptibles d'affecter le niveau de sûreté requis de chaque digue.

AREVA doit ainsi définir un plan d'action afin, dans un premier temps, de constituer les dossiers géotechniques associés à chaque digue et, dans un second temps, d'évaluer leur stabilité et déterminer l'éventuelle nécessité de les renforcer notamment au regard de leur vulnérabilité vis-à-vis des régimes hydrauliques extrêmes, des situations sismiques considérées ou vis-à-vis du cumul de différents aléas naturels (période à pluviométrie importante, niveau piézométrique élevé, inondation, crue centenaire ou millénaire ...). Le plan d'action précisera notamment pour le 31 décembre 2013 le calendrier envisagé ainsi que la liste des sites jugés aujourd'hui prioritaires.

L'impact dosimétrique des stériles miniers

Il est important qu'AREVA fonde sa démarche de gestion des risques associés aux stériles sur l'analyse la plus approfondie possible des diverses situations rencontrées sur et autour des anciens sites miniers.

Ainsi, la gestion des risques **liés à l'utilisation de stériles dans le domaine public** doit privilégier la mise en œuvre d'actions d'identification et de caractérisation de terrain par rapport à la réalisation d'évaluations théoriques conduites sur la base de situations génériques. **A cet égard, la démarche mise en œuvre par AREVA en application de la circulaire du Ministère du chargé de l'environnement et de l'ASN du 22 juillet 2009 doit se poursuivre en tenant compte des remarques identifiées dans les demandes de l'ASN dans son courrier du 14 mai 2012. L'analyse des résultats de cette campagne de recensement national pourra permettre, à partir des observations effectuées, de confirmer ou le cas échéant, redéfinir les scénarios d'exposition qu'il est pertinent de prendre en compte pour évaluer l'impact associé à la présence de stériles sur la base des gammes de teneurs et d'expositions effectivement rencontrées. Ce bilan sera fourni pour le 30 novembre 2014.**

S'agissant de l'impact dosimétrique associé à la présence d'une verse à stériles, AREVA doit exploiter sa connaissance des sites, notamment au travers des bilans environnementaux⁴⁹ prévus par la circulaire du 22 juillet 2009, pour identifier la présence de verses à stériles et préciser pour le 30 novembre 2014, celles présentant les teneurs en uranium les plus significatives ainsi que les niveaux d'exposition auxquels elles pourraient être associées pour les divers scénarios envisageables. Ces scénarios doivent tenir compte des cas d'utilisation ou de réaménagement relevés sur ces sites.

⁴⁹ Les bilans environnementaux correspondent aux bilans de fonctionnement mentionnés dans la circulaire du 22 juillet 2009.

2.3 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 2013-2015 présente les flux et stocks de matières produits aux différentes étapes du cycle du combustible ainsi que les filières de valorisation de ces matières, dont les principales sont :

- **le combustible usé** : l'essentiel des combustibles usés présents sur le sol français est destiné au traitement. L'uranium (de retraitement) et le plutonium extraits peuvent être valorisés ;
- **l'uranium** :
 - ***l'uranium naturel***, à partir duquel les usines d'enrichissement produisent deux flux de substances : l'uranium enrichi et l'uranium appauvri ;
 - ***l'uranium enrichi***, destiné à la fabrication des combustibles pour la production d'électricité d'origine nucléaire ;
 - ***l'uranium appauvri***, qui :
 - sert à la fabrication du combustible MOX qui alimente certains réacteurs d'EDF ;
 - peut être ré-enrichi à des teneurs plus élevées, ce qui peut être économiquement intéressant en cas de hausse des cours de l'uranium naturel ou si les techniques d'enrichissement évoluent ;
 - à plus long terme, pourrait être valorisable à grande échelle dans les réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération ;
 - ***l'uranium de recyclage issu du traitement des combustibles usés (URT)***, extrait des combustibles usés, qui est ré-enrichi pour produire de **l'uranium de recyclage enrichi (URE)** utilisé pour la fabrication de combustibles ;
- **le plutonium** : contenu dans les assemblages usés, extrait lors de leur traitement ;
- **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.

Dans le cadre des études demandées par le PNGMDR 2010-2012, les propriétaires de matières radioactives ont fourni des études sur les options de gestion dans les cas où les matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets. La profondeur des stockages envisagés par les producteurs dans ces études les rend vulnérables à l'intrusion humaine et aux phénomènes naturels susceptibles de survenir sur le long terme. **Ces études devront être approfondies par les producteurs en lien avec l'Andra en prenant en compte des conditions géologiques plus favorables au confinement et à l'isolation des radionucléides pour des scénarios d'évolution normale et altérée.**

2.3.1 Contexte et enjeux

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

Des échanges de matières radioactives avec l'étranger ont lieu à plusieurs étapes du cycle du combustible, même lorsque la France en a la maîtrise. En particulier, des échanges d'uranium naturel, appauvri et enrichi ont lieu, car une diversification des approvisionnements en uranium permet de limiter les risques. En effet, il ne serait pas responsable de confier l'approvisionnement français en uranium enrichi à une seule usine, fût-elle française ; le raisonnement vaut également pour les étapes de conversion et de fabrication de combustible. Toute installation industrielle peut connaître des défaillances opérationnelles qui peuvent interrompre la production. Pour éviter toute rupture d'approvisionnement, 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). Tout comme AREVA, ces deux sociétés maîtrisent les techniques d'enrichissement depuis de nombreuses années. De plus, le procédé industriel utilisé par Urenco et Tenex est connu (ultracentrifugation), et il a été adopté par AREVA qui le met en œuvre dans le cadre de l'usine Georges Besse II à Pierrelatte.

En 2009, le Ministre d'État, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat et l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques ont saisi le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), pour procéder à l'examen de la question des échanges internationaux liés au traitement de l'uranium et recueillir son avis sur la transparence de la gestion des matières et des déchets nucléaires produits aux différents stades du cycle du combustible. Le HCTISN a remis son rapport en juillet 2010⁵⁰. Ce dernier présente une analyse détaillée du cycle du combustible tel qu'il existe en France. 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. Il s'appuie également sur l'édition 2010-2012 du PNGMDR. 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 au citoyen.

En application des recommandations formulées par le HCTISN⁵¹, le ministère en charge 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.

⁵⁰ Le rapport complet du HCTISN est disponible sur le lien suivant : <http://www.hctisn.fr>, rubrique « les avis et rapports du Haut Comité ».

⁵¹ Recommandation n°5 figurant dans l'avis rendu le 12 juillet 2010 par le HCTISN.

Exportations						
Matière valorisable	Données de référence (source : rapport HCTISN sur la transparence du cycle)		Données 2010 et 2011 (source : données transmises par la DGEC au HCTISN en 2011 et 2012)		Actualisation des données à fin 2012	
	Années 2006-2009 : total des exportations		Total des exportations en 2010 (en tonnes)	Total des exportations en 2011 (en tonnes)	Années 2006-2011 : total des exportations	
	Cumul 2006-2009 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)			Cumul 2006-2011 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)
Uranium appauvri	34 229	8 557	6 863	4 507	45 599	7 600
Uranium naturel	20 845	5 211	8 321	8 384	37 550	6 258
Uranium légèrement enrichi	7 394	1 849	2 032	1 011	10 437	1 740
Uranium hautement enrichi	2	ns ⁵²	0	ns	2	0
Plutonium	9	ns	2	1	12	2
Thorium	12	ns	2	2	16	3
Importations						
Matière valorisable	Données de référence (source : rapport HCTISN sur la transparence du cycle)		Données 2010 et 2011 (source : données transmises par la DGEC au HCTISN en 2011 et 2012)		Actualisation des données à fin 2012	
	Années 2006-2009 : total des importations		Total des importations en 2010 (en tonnes)	Total des importations en 2011 (en tonnes)	Années 2006-2011 : total des importations	
	Cumul 2006-2009 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)			Cumul 2006-2011 (en tonnes)	Flux annuel moyen (en tonnes)
Uranium appauvri	17 465	4 366	7 330	6 924	31 719	5 287
Uranium naturel	44 680	11 170	8 238	11 016	63 934	10 656
Uranium légèrement enrichi	7 194	1 799	1 720	1 415	10 329	1 722
Uranium hautement enrichi	0	0	0	0	0	0
Plutonium	2	ns	0	ns	2	0
Thorium	0	ns	0	ns	0	0

Bilan des exportations et importations directes avec l'ensemble des pays concernés par l'industrie nucléaire

2.3.2 Présentation des modalités actuelles de gestion, appréciation du caractère valorisable des matières et filières de valorisation

Comme rappelé au chapitre 1.1.1, une matière radioactive est définie comme 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 donc décidé par son propriétaire⁵³, en fonction de l'utilisation qu'il en a déjà ou des perspectives industrielles qu'il envisage. Si cette substance n'a pas encore fait l'objet d'une utilisation industrielle, elle est dite valorisable.

⁵² ns = non significatif

⁵³ Les ministres peuvent requalifier les matières en déchets conformément aux dispositions de l'article 9 du décret du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

À ce jour, sept principales catégories⁵⁴ de matières radioactives ont été identifiées :

- les combustibles usés ;
- l'uranium naturel;
- l'uranium enrichi ;
- l'uranium appauvri ;
- l'uranium de recyclage issu du traitement des combustibles usés ;
- le plutonium ;
- le thorium.

Les éléments relatifs à l'entreposage des matières radioactives figurent dans le dossier « synthèse du dossier impact cycle 2007 »⁵⁵ qui présente notamment la démarche de veille et d'anticipation sur le cycle du combustible dans l'objectif de définir les besoins en matière d'installations d'entreposage de ces matières.

L'article 13 du décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs avait demandé que les propriétaires de matières radioactives valorisables pour lesquelles les procédés de valorisation n'ont jamais été mis en œuvre remettent fin 2008 un bilan des études sur les procédés de valorisation qu'ils envisagent. Conformément à cette demande, AREVA, le CEA et EDF ont remis des études relatives aux matières uranifères, plutonifères et thorifères qu'ils détiennent. Rhodia a également remis une étude concernant les procédés de valorisation de ses matières en suspension (MES), de ses hydroxydes bruts de thorium (HBTh) et de ses nitrates de thorium. Ces études présentaient les procédés de valorisation des matières présentes sur le sol français, mis en œuvre à l'échelle industrielle pour certains, en attente d'opportunités économiques ou en développement pour d'autres. Des éléments d'actualisation ont été transmis par les quatre mêmes exploitants fin 2010. Le bilan de la gestion à long terme des matières valorisables exposé ci-après a été établi notamment sur la base de ces études et de leur actualisation. De manière synthétique, la situation décrite est la suivante :

⁵⁴ Le cas des sources scellées usagées est traité dans le chapitre 3.1.3.

⁵⁵ Les éléments relatifs au dossier « impact cycle 2007 » sont disponibles sur le site de l'ASN <http://www.ans.fr>, rubrique « les actions de l'ASN », « les appuis techniques », « les groupes permanents d'experts », « groupe permanent d'experts pour les déchets ».

Nature des matières		Ordre de grandeur de la quantité sur sol français à fin 2010 ⁵⁶	Statut de la valorisation
Combustibles usés	combustibles à uranium naturel du parc EDF	19 000 tonnes	valorisation à l'échelle industrielle établie
	combustibles MOX et URE du parc EDF		faisabilité démontrée à l'échelle industrielle du traitement en vue du recyclage dans les réacteurs de 4 ^e génération
	combustibles de propulsion navale		faisabilité démontrée du traitement en vue du recyclage
	combustibles des réacteurs de recherche		faisabilité du traitement démontrée pour la majorité de ces combustibles. Toutefois, la stratégie de gestion (traitement) des combustibles issus des réacteurs OSIRIS, ISIS, ORPHEE doit être précisée par le CEA et les combustibles usés EL4 provenant de Brennilis ont été classés en déchets radioactifs par leur propriétaire, EDF.
Uranium naturel et enrichi		19 000 tonnes	usage industriel établi
Uranium appauvri (Uapp)		272 000 tonnes	utilisation en l'état établie (combustible MOX), valorisation par ré-enrichissement réalisée, faisabilité de son utilisation dans les réacteurs de 4 ^{ème} génération démontrée à l'échelle industrielle
Uranium de recyclage issu du traitement (URT)		24 100 tonnes	usage industriel établi (recyclage en combustible URE)
Plutonium		80 tonnes	usage industriel établi (recyclage en combustible MOX)
Thorium		8 500 tonnes ⁵⁷	expérience industrielle significative de traitement des matières thorifères et de production électrogène sur la base d'un cycle au thorium développement industriel en cours pour les besoins de la médecine

Matières valorisables, quantité et statut de la valorisation associés

Les combustibles usés

L'essentiel des combustibles usés présents sur le sol français est constitué des combustibles des réacteurs à eau pressurisée (REP), soit en cours d'irradiation dans les réacteurs d'EDF, soit déchargés de ces mêmes réacteurs et entreposés en piscine (sur les sites de ces réacteurs ou dans l'usine AREVA de La Hague). Les capacités d'entreposage disponibles sont faibles et pourraient s'avérer insuffisantes à l'horizon 2020, voire avant cette échéance en cas d'aléas sur le cycle. EDF et AREVA envisagent d'augmenter ces capacités.

La valorisation des combustibles usés issus des réacteurs électrogènes, via le traitement à l'usine de La Hague et le recyclage des matières qui y sont séparées, est une opération déjà largement mise en œuvre au plan industriel pour les combustibles UOX (Uranium OXyde), constitués de pastilles de dioxyde d'uranium.

Concernant les combustibles URE (combustibles à base d'URT enrichi), la faisabilité de leur traitement à l'échelle industrielle a pu être montrée en 2006. Compte tenu de la nature des matières séparées, la gestion industrielle de référence des combustibles URE usés est le recyclage

⁵⁶ Données de l'édition 2012 de l'Inventaire national.

⁵⁷ La valeur en thorium est différente de celle de l'édition 2012 de l'Inventaire national (IN), Rhodia ayant déclaré à l'IN pour les matières dont il est propriétaire, des quantités en hydroxyde de thorium et non en thorium.

dans les réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides. Dans cette perspective, les combustibles URE usés sont actuellement entreposés, en attente du besoin.

S'agissant des combustibles usés MOX (Mélange d'Oxydes), constitués de dioxyde de plutonium et de dioxyde d'uranium appauvri, environ 70 tonnes de combustibles MOX usés provenant des REP ont déjà été traitées dans l'usine de La Hague depuis l'origine. Par ailleurs, plusieurs dizaines de tonnes de combustibles MOX usés provenant des réacteurs à neutrons rapides (RNR) ont été traitées tant à La Hague qu'à Marcoule. La faisabilité industrielle du traitement des combustibles MOX REP et MOX RNR est établie. 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 l'électricien français est le recyclage dans les réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides. Dans cette perspective, le plutonium est actuellement conservé au sein des assemblages MOX usés, en attente du besoin.

Pour les combustibles des réacteurs de recherche, une technique spécifique mise en œuvre dans l'usine de la Hague permet de traiter les combustibles issus de certains réacteurs (IN2P3 à Strasbourg, et réacteurs SILOE, SILOETTE, ULYSSE et SCARABEE du CEA). En outre, les combustibles de type « caramel » (sandwich d'alliage d'uranium enrichi entre deux plaques métalliques) utilisés actuellement dans d'autres réacteurs de recherche (OSIRIS, ISIS, ORPHEE) sont destinés au traitement, même si aucune campagne de traitement n'a encore eu lieu dans l'usine de La Hague. 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. Il a été possible de traiter 2,3 tonnes d'UO₂ et de valider le concept. Enfin, le CEA possède d'autres types de combustibles de réacteurs de recherche usés : les combustibles issus des réacteurs CABRI et PHEBUS seront traités dans les ateliers existants.

Les combustibles usés de la propulsion nucléaire s'apparentent aux combustibles « caramel », dont le traitement ne pose pas de problème particulier en matière de dissolution compte tenu du retour d'expérience mentionné précédemment. Il faut noter toutefois que le traitement industriel nécessitera de nouveaux équipements dans l'usine de La Hague.

Ainsi, la majorité des combustibles usés constitue des matières valorisables. Seuls les combustibles usés du réacteur EL4 de Brennilis, qui représentent un volume limité (27 m³) et un potentiel de valorisation insuffisant, constituent des déchets.

L'uranium

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 de l'uranium, à une teneur généralement comprise entre 3 et 5 % et qui servira à la fabrication des combustibles, et d'autre part, de l'uranium appauvri en isotope 235 de l'uranium, isotope présent avec une teneur de l'ordre de 0,4 % ou moins. L'uranium enrichi est mis en œuvre dans les combustibles utilisés pour la production d'électricité d'origine nucléaire.

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, coréens...). L'uranium appauvri⁵⁸ est entreposé sur les sites de Pierrelatte (environ 170 000 tonnes) et de Bessines-sur-Gartempe (environ 100 000 tonnes) sous forme d'oxyde conditionné dans des conteneurs, à raison de 6 à 12 tonnes d'oxyde par conteneur d'environ 3 m³. La saturation des parcs d'entreposage ne devrait pas intervenir pas avant 2016-2020. A cet horizon, des extensions des capacités d'entreposage seront nécessaires.

⁵⁸ Selon les données de l'Inventaire national, la production d'uranium appauvri (entre 2007 et 2010) est d'environ 5 500 tonnes par an.

Trois usages de l'uranium appauvri sont possibles :

- l'uranium appauvri est utilisé régulièrement depuis plusieurs années comme matrice support du combustible MOX (combustible composé d'un mélange d'uranium et de plutonium, élaboré en France dans l'usine MELOX située à Marcoule dans le Gard). Ce flux représente environ une centaine de tonnes par an (sachant qu'environ 270 000 tonnes d'uranium appauvri sont actuellement entreposées en France) ;
- en outre, il peut être économiquement intéressant de ré-enrichir de l'uranium appauvri à des teneurs plus élevées, en cas de hausse des cours de l'uranium naturel ou suite à l'évolution des techniques d'enrichissement. Concrètement, en 2008 et 2009, alors que le marché de l'uranium naturel le permettait, 7 800 tonnes d'uranium appauvri ont été utilisées pour obtenir l'équivalent de 1 800 tonnes d'uranium naturel. On peut ainsi envisager qu'à moyen terme les stocks actuels d'uranium appauvri (dénommé ici Uapp « primaire ») soient ré-enrichis, sur des durées de l'ordre de 30 à 50 ans. De nouveaux stocks d'uranium appauvri, Uapp secondaire (à un taux d'enrichissement de l'ordre de 0,1 à 0,2 %), seraient ainsi constitués. De nouvelles technologies, telles que l'enrichissement par laser, pourraient à terme permettre une séparation encore plus poussée, produisant alors de l'Uapp tertiaire (avec un objectif de taux d'enrichissement inférieur à 0,1 %) ;
- à plus long terme enfin, les stocks d'uranium appauvri pourront être valorisables à grande échelle dans les réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides, qui pourraient être déployés à partir du milieu du siècle. Ce type de réacteur peut en effet pleinement tirer partie du potentiel énergétique de l'isotope 238 de l'uranium.

L'uranium de recyclage issu du traitement (URT) est extrait des combustibles usés. Il constitue environ 95 % de la masse du combustible usé. Pour le parc EDF, sa valeur énergétique est comparable à celle de l'uranium naturel, avec une teneur en isotope fissile 235 de l'ordre de 0,8 %. À la demande des clients, 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 de combustibles nucléaires. A ce jour, sur les 1 000 tonnes séparées annuellement par le traitement de combustibles usés provenant des réacteurs nucléaires français, jusqu'à 650 tonnes par an sont ré-enrichies en substitution à l'uranium naturel, ce qui permet l'alimentation des quatre réacteurs du site de Cruas.

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 française d'Eurodif ne le permet pas. L'usine Georges Besse I, aujourd'hui arrêtée, était dédiée à l'enrichissement de l'uranium naturel. L'usine Georges Besse II, basée sur une technologie d'enrichissement isotopique différente (ultracentrifugation), est autorisée, par décret n°2007-631 du 27 avril 2007 modifié, à enrichir de l'URT dans un des modules de l'unité nord. L'unité sud d'enrichissement de GB II est en service depuis 2011 et enrichit exclusivement de l'uranium naturel. La mise en service partielle de l'unité nord en vue de réaliser des essais sur le système de contrôle isotopique non destructif a été autorisée par l'ASN en octobre 2012. La demande de mise en service industrielle de l'unité nord est en cours d'instruction par l'ASN. L'introduction d'uranium naturel dans la première cascade de centrifugeuses de l'unité nord interviendra probablement en début d'année 2013. La Société d'Enrichissement du Tricastin aura la possibilité d'enrichir de l'URT, sous réserve d'une autorisation préalable de l'ASN, mais ne prévoit pas une telle mise en œuvre d'URT avant plusieurs années. L'atelier support REC II de GB II, dont la mise en service est prévue au second semestre 2013, pourra également recevoir de l'URT selon les modalités du décret n°2011-1949 du 23 décembre 2011.

L'URT non immédiatement recyclé est entreposé à Pierrelatte (environ 24 000 t) sous forme de poudre d'oxyde d'uranium. C'est un stock stratégique qui peut être valorisé dans différentes situations : lorsque les conditions économiques de sa filière sont plus favorables que celles de l'utilisation de l'uranium naturel ; lorsqu'un arbitrage s'effectue entre utilisation présente et future, par exemple en matière de sécurité d'approvisionnement ; en fonction des autorisations de

fonctionnement de réacteurs EDF avec du combustible à l'URT délivrées par l'ASN. Sans enrichissement, l'utilisation de l'URT est aujourd'hui qualifiée pour des réacteurs à eau lourde. L'URT est également utilisable dans les réacteurs de quatrième génération à neutrons rapides. De nouvelles capacités d'entreposage d'URT seront nécessaires à l'horizon 2020.

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 de type eau légère 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 NC La Hague sous forme stable de poudre d'oxyde PuO₂. Le recyclage du plutonium est aujourd'hui réalisé dans le combustible MOX. Ce combustible est constitué de pastilles de poudre d'oxydes (UPu)O₂ fabriquées à partir d'uranium appauvri comme support et de plutonium.

En France, le combustible MOX utilisé par EDF dans 22 réacteurs contribue à hauteur de 10 % environ à la production électrique nucléaire nationale. Les besoins en plutonium pour la fabrication du combustible MOX, de l'ordre de 10 tonnes par an, conditionne le flux annuel des combustibles usés EDF traités dans l'usine de La Hague par AREVA.

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

Le thorium

AREVA, le CEA et Rhodia sont propriétaires d'environ 8 500 tonnes de thorium, sous forme de nitrate et d'hydroxyde. Ces matières sont entreposées sur les sites de La Rochelle (environ 6 200 t) et de Cadarache (environ 2 300 tonnes).

Le thorium 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 mais pas avant plusieurs décennies au vu des travaux de recherche et développement encore nécessaires. 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, est par contre envisageable à plus court terme en fonction des besoins et de l'évolution du marché de l'uranium naturel.

Le thorium n'a pas d'utilisation établie à l'échelle industrielle aujourd'hui, mais de nombreuses perspectives sont affichées par AREVA et Rhodia, justifiant le classement des quantités entreposées comme matières.

Dans leur étude de 2008, EDF, AREVA et le CEA ont recensé les procédés de valorisation du thorium, en identifiant notamment ceux qui ont fait l'objet d'applications à échelle industrielle dans le passé. L'ASN, dans un avis de 2009, a émis des doutes sur la perspective d'utilisation du thorium dans des réacteurs électrogènes, considérant que d'importants développements étaient nécessaires et que l'intérêt du thorium par rapport à l'uranium dans les réacteurs de quatrième génération n'était pas certain.

AREVA a engagé un programme de R&D en plusieurs phases sur les applications en réacteur, destiné à conforter une réponse industrielle à l'utilisation du thorium. La première phase a été finalisée en 2010 en vue d'identifier les potentialités de l'utilisation du thorium en réacteur à eau légère. La seconde phase, planifiée sur deux ans, doit apporter des éléments d'analyse autant sur les technologies disponibles que sur les plans d'affaires liés à l'utilisation des combustibles à base

de thorium, en vue de confirmer et de détailler les résultats obtenus pendant la première phase. Les études menées par AREVA avec différents partenaires en France et ailleurs, sont focalisées sur l'introduction graduelle du thorium, et donc de l'uranium 233, dans des assemblages de combustible en vue d'améliorer le cycle uranium-plutonium et le multi-recyclage de ces matières fissiles. Ceci s'inscrit dans l'objectif d'AREVA de répondre à plusieurs demandes au plan mondial de gestion des matières fissiles et fertiles, notamment des demandes de pays qui cherchent à déployer aussi d'autres options en synergie avec des réacteurs de troisième et quatrième génération. Sur cette base, AREVA envisage d'établir ensuite un programme de R&D plus étendu, intégrant 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.

Parallèlement, AREVA poursuit le développement de son projet TAO. Ce projet consiste à produire du radium 224 à partir du thorium, en support au développement d'une innovante forme de thérapie de ciblage des tumeurs appelée « radio-immunothérapie alpha au plomb 221 ». Des essais pré-cliniques sont menés aux États-Unis avec le radium 224 produit par un pilote pré-industriel en fonctionnement à Bessines-sur-Gartempe. La construction d'un atelier industriel de production du radium 224 est lancée sur ce même site, pour mener les essais cliniques prévus sur plusieurs années. L'INSERM, en France, s'intéresse également à cette technique.

Concernant l'hydroxyde brut de thorium (HBTh) (contenant du thorium, de l'uranium et des oxydes de terres rares) et le nitrate de thorium, l'étude de Rhodia conclut notamment que les étapes principales du procédé ont déjà été exploitées industriellement et que le bilan économique du traitement montre qu'il suffit d'un prix de quelques dizaines d'euros par kg de ThO₂ pour rentabiliser l'investissement.

Les matières en suspension (MES)

Les matières radioactives de Rhodia comprennent également des matières en suspension (contenant des oxydes de terres rares et des traces de thorium et d'uranium). L'étude remise par Rhodia conclut à la faisabilité technico-économique de la valorisation de ces matières en suspension. Rhodia a effectivement commencé leur recyclage dès 2010. La totalité devrait être recyclée d'ici 2020.

2.3.3 Options de gestion dans le cas où les matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets

L'article 10 du décret n°2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs a prescrit aux propriétaires de matières de mener « *avant fin 2010, à titre conservatoire, des études sur les filières possibles de gestion dans le cas où ces matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets* », dans l'hypothèse, principalement, où les programmes électronucléaires ne seraient poursuivis à l'avenir ni en France ni à l'étranger. Les travaux remis par les propriétaires de matières fin 2010 ont concerné l'uranium appauvri, l'uranium de recyclage issu du traitement et le thorium. La faisabilité du stockage en l'état des combustibles usés en stockage géologique profond a été apportée par l'Andra en 2005, et l'uranium (naturel et enrichi) et le plutonium font partie du stock-outil de la filière électronucléaire actuelle.

Uranium appauvri

En France, l'uranium appauvri est principalement propriété d'AREVA, détenu sur ses sites de Pierrelatte (environ 170 000 tonnes) et de Bessines-sur-Gartempe (environ 100 000 tonnes). L'activité massique actuelle de l'uranium appauvri est estimée par AREVA à 40 000 Bq/gU. La

présence d'uranium fissile reporté, selon AREVA, le pic radiologique (environ 110 000 Bq/gU) qui sera atteint au bout de trois millions d'années après sa production.

L'uranium appauvri n'est pas acceptable dans les centres de stockage de déchets radioactifs existants compte tenu de l'activité de l'uranium à 300 ans (activité alpha). La durée de vie de cette matière ne permet pas de retenir comme option de sûreté une durée de confinement jusqu'à la décroissance du terme source.

L'étude menée par AREVA dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 a consisté à déterminer les conditions environnementales dans lesquelles les colis contenant l'uranium appauvri doivent être placés pour minimiser le relâchement des radioéléments susceptibles d'avoir un impact sur la santé des populations environnantes via la consommation d'eau de boisson. Les travaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) conduisent AREVA à retenir la toxicité chimique de l'uranium appauvri comme critère prépondérant, soit une limite de concentration en uranium dans l'eau de boisson égale à 15 microgrammes par litre au moment de l'étude. Il convient de noter que la valeur guide de l'OMS a été révisée récemment pour la porter à 30 microgrammes par litre⁵⁹.

L'étude menée par AREVA s'est attachée à déterminer les conditions géochimiques les plus favorables au confinement durable de l'uranium appauvri, puis les conditions hydro-géochimiques susceptibles de diminuer durablement le flux d'uranium vers la biosphère à des valeurs acceptables.

AREVA a ainsi déterminé les principales caractéristiques hydro-géochimiques à respecter au niveau du stockage et de son environnement géologique. Il retient un stockage :

- au sein d'un milieu argileux d'une épaisseur supérieure à 40 m ;
- en présence de calcite dans l'argile sous le stockage pour précipiter le fluor résiduel sous forme de fluorite, éliminant ainsi la principale source de solubilité de l'uranium ;
- en conditions réductrices pour piéger une grande part des radionucléides et maintenir la teneur en uranium en dessous de 15 µg/L ;
- dans un environnement saturé à faible perméabilité et faible gradient hydraulique afin de limiter le mouvement des masses d'eau ;
- dont l'aquifère sous-jacent serait situé au moins 10 m sous la zone tampon de consommation du fluor contenu dans le stockage.

Selon AREVA, ces multiples conditions sont, en fait, des caractéristiques hydro-géochimiques assez communes en France, d'autant que, par exemple, de très faibles teneurs en pyrite suffiraient à respecter la condition réductrice nécessaire.

AREVA conclut que le stockage de l'uranium appauvri est donc concevable, considérant que les caractéristiques suffisantes du milieu géologique pour ce stockage sont globalement moins contraignantes que celles qui sont recherchées pour le stockage des déchets FAVL.

Uranium de recyclage issu du traitement (URT)

EDF et AREVA sont respectivement propriétaires d'environ 13 000 tonnes et 7 000 tonnes d'URT. La composition chimique de l'URT dépend des traitements qu'il a subis. Ses caractéristiques isotopiques sont variables en fonction des caractéristiques des combustibles usés dont l'URT a été extrait. Les caractéristiques radiologiques de l'URT, activité massique inférieure à 100 000 Bq/gU et présence de radioéléments à vie longue, ont conduit EDF et AREVA à mener une étude de préfaisabilité sur la base d'un concept de stockage à faible profondeur, sous

⁵⁹ World Health Organization « Guidelines for drinking water quality » - 4e édition, 2011 – table 8.8

couverture remaniée, analogue au concept qu'étudie l'Andra pour les déchets de faible activité à vie longue.

AREVA et EDF ont étudié la préfaisabilité d'un stockage sous couverture remaniée, implanté au sein d'une formation argileuse, *a minima* 35 m au dessus d'une formation aquifère, qui serait recouvert de matériaux (argile, remblais, terre) sur une quinzaine de mètres d'épaisseur. Les colis seraient stockés dans des alvéoles en béton au sein de la formation argileuse (les exploitants précisent qu'aucune performance n'a été allouée au béton). Ce concept est semblable au concept sous couverture remaniée (SCR) retenu par l'Andra pour le projet de stockage des déchets de type FAVL. Les évaluations de l'impact radiologique et chimique d'un tel stockage présentées par les exploitants retiennent la diffusion en milieu réducteur saturé en eau comme mécanisme de transfert principal dans la roche hôte et dans la couverture. L'exutoire retenu pour l'évaluation des impacts correspond à une rivière.

L'évaluation de l'impact radiologique réalisée par EDF et AREVA conduit à une dose inférieure à 0,1 microsievert par an. Cette valeur est très inférieure à la limite de 0,25 millisievert par an figurant dans les Orientations Générales de sûreté pour le stockage des déchets FAVL émises par l'ASN en 2008⁶⁰. Les études ont également montré que l'impact chimique associé à l'uranium serait acceptable dans le cas d'un stockage de l'URT en sub-surface. EDF et AREVA concluent 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.

Thorium

En réponse à la demande du PNGMDR 2010-2012, Rhodia et AREVA ont examiné les modalités de gestion à long terme du thorium s'il était un jour qualifié de déchet radioactif.

Les matières entreposées sont sous des formes diverses : nitrate de thorium, hydroxyde de thorium, etc. Elles contiennent également une faible proportion d'uranium 238. Leurs caractéristiques radiologiques (l'activité massique du nitrate de thorium est d'environ 5 000 Bq/g et celle de d'hydroxyde de thorium est d'environ 2000 Bq/g) les rendent incompatibles avec un stockage en surface. AREVA et Rhodia ont pris comme concept de référence le concept étudié par l'Andra pour le stockage de déchets radifères. Les calculs réalisés par AREVA et Rhodia ont montré que les concentrations en thorium et en uranium dans l'environnement, en évolution normale, resteraient inférieures à 1 microgramme par litre, valeur très inférieure aux recommandations de l'OMS pour les eaux de boisson.

AREVA et Rhodia concluent donc qu'un stockage en sub-surface accueillant des déchets de type « radifères » pourrait constituer un mode de gestion possible pour le thorium si cette matière venait à être considérée comme un déchet.

⁶⁰ Le guide est consultable sur le site internet de l'ASN <http://www.asn.fr>, rubrique « Les actions de l'ASN », « La réglementation », « Règles fondamentales de sûreté et guides de l'ASN », « Guides de l'ASN et RFS relatifs aux INB autre que les réacteurs ».

2.3.4 Perspectives⁶¹

La valorisation de la majorité des matières radioactives suppose que des programmes électronucléaires soient poursuivis à l'avenir, en France ou à l'étranger. Dans la mesure où il ne peut être garanti aujourd'hui que cette condition reste remplie à très longue échéance, les propriétaires de matières radioactives ont examiné les options de gestion possibles pour les matières uranifères (uranium appauvri et uranium de recyclage issu du traitement) et thorifères (nitrate de thorium et hydroxyde de thorium) si elles devaient à terme être considérées comme des déchets.

L'activité massique des matières concernées (de quelques kBq/g jusqu'à quelques centaines de kBq/g) et la présence de radioéléments à vie longue (jusqu'à quelques milliards d'années) ont conduit AREVA, le CEA, EDF et Rhodia à retenir un stockage en sub-surface similaire à celui envisagé par l'Andra en 2009 pour la gestion des déchets FAVL. Les exploitants retiennent un stockage implanté au sein d'une formation argileuse de faible perméabilité permettant de limiter la migration des radionucléides. Les évaluations de l'impact radiologique et chimique présentées par les exploitants retiennent la diffusion et la convection en milieu réducteur saturé en eau comme mécanisme de transfert et concluent à un impact radiologique et chimique négligeable.

Compte tenu de l'activité massique relativement élevée des matières uranifères et thorifères considérées, en particulier de l'uranium appauvri et de l'uranium de recyclage issu du traitement, et des longues périodes des radioéléments contenus dans ces matières, la profondeur envisagée par les propriétaires rend les stockages vulnérables à l'intrusion humaine et aux phénomènes naturels susceptibles de survenir sur le long terme, et le maintien dans le temps de conditions favorables à la limitation du relâchement des radionucléides ne peut être garanti.

En conséquence, **AREVA, le CEA, EDF et Rhodia devront approfondir, en lien avec l'Andra, les études relatives au stockage de ces matières dans le cas où celles-ci seraient à l'avenir qualifiées de déchets, en fournissant des évaluations de l'impact radiologique et chimique prenant en compte les voies de transfert eau, air et sol pour des scénarios d'évolution normale ainsi que des évaluations de l'impact pour des scénarios d'évolution altérée.** Le respect des orientations de sûreté édictées par l'ASN pour de tels centres de stockage devra notamment être justifié dans le cadre de ces études.

Concernant le stockage de l'uranium appauvri et de l'uranium de recyclage issu du traitement, AREVA, le CEA et EDF devront approfondir leur réflexion en prenant en compte des conditions géologiques plus particulièrement favorables au confinement et à l'isolation des matières dans le cas où celles-ci seraient à l'avenir qualifiées en déchets, sur une durée aussi longue que possible, et en évaluant les conséquences des phénomènes géodynamiques et climatiques sur ces conditions.

Pour les matières thorifères, AREVA et Rhodia retiennent le principe d'un stockage sous couverture remaniée. La plus faible activité massique du nitrate de thorium et plus particulièrement de l'hydroxyde de thorium permettrait d'envisager ce type de stockage selon l'inventaire complet des déchets qui relèverait *in fine* d'un tel stockage et des conditions de site.

⁶¹ L'avis n°2012-AV-0156 du 26 juin 2012 sur les filières de gestion des matières radioactives dans le cas où celles-ci seraient à l'avenir qualifiées 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 ».

Afin de positionner la gestion de l'hydroxyde de thorium et plus généralement des matières uranifères et thorifères, si celles-ci devaient être requalifiées de déchets, dans un schéma global de gestion des déchets, AREVA, le CEA, EDF et Rhodia doivent tenir à disposition de l'Andra et de l'ASN l'inventaire radiologique et chimique détaillé des matières concernées afin notamment d'être en mesure d'analyser leur acceptabilité dans les filières de stockage en projet.

Les échéances des études susvisées seront déterminées en fonction du statut de ces matières et de celles en particulier qui seraient requalifiées en déchets.

2.4 La gestion des déchets par décroissance radioactive

La gestion des déchets par décroissance radioactive permet la gestion des déchets dont les radioéléments ont une période radioactive inférieure à 100 jours, provenant essentiellement des services de médecine nucléaire et des laboratoires de recherches, vers des filières conventionnelles.

Elle constitue également une étape intermédiaire de gestion de certains déchets radioactifs produits dans les installations nucléaires de base, notamment les déchets tritiés.

Ce mode de gestion impose la mise en place d'installations d'entreposage adaptées.

2.4.1 La gestion des déchets radioactifs dont la période est inférieure à 100 jours

La gestion des déchets radioactifs par décroissance radioactive sur leur lieu de production est réservée aux déchets dont les radioéléments ont une période radioactive inférieure à 100 jours⁶². L'objectif est d'attendre que l'activité des déchets ait suffisamment décru pour qu'ils puissent être orientés vers une filière conventionnelle. Les principaux établissements concernés par ce type de gestion sont les services de médecine nucléaire et des laboratoires de recherche.

L'évolution réglementaire intervenue en 2008 confirme cette approche. La décision n°2008-DC-0095⁶³ 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, prise en application des dispositions de l'article R.1333-12 du code de la santé publique encadre la gestion de ces déchets. Ils 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 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.

Cette décision a fait l'objet du guide de l'ASN n°18⁶⁴ relatif à l'élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides produits dans des installations déclarées ou autorisées au titre de l'article L.1333-12 du code de la santé publique. Ce guide explicite les attendus et notamment les dispositions techniques à mettre en œuvre pour l'entreposage des déchets ainsi que les modalités spécifiques applicables aux services de médecine nucléaire.

⁶² Ou lorsque les produits de filiation des 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} .

⁶³ 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, rubrique « la réglementation », « bulletin officiel de l'ASN ».

⁶⁴ Le guide n°18 est disponible sur le site de l'ASN à l'adresse suivante : www.asn.fr, rubrique « publication », « guide pour les professionnels ».

2.4.2 La gestion des déchets radioactifs par décroissance avant leur stockage

Certains déchets nécessitent d'être entreposés pendant plusieurs périodes avant de rejoindre les filières dédiées à la gestion à long terme des déchets radioactifs car ils ne respectent pas les critères d'acceptation de ces filières ou des critères de transport. C'est le cas notamment des déchets contenant du tritium (dont la période est de 12,3 ans), en quantité significative qui devront être entreposés pendant une cinquantaine d'années avant de rejoindre les exutoires existants ou en projet. Ces éléments sont développés dans le chapitre 3.1.2.

De même, la gestion de certains déchets de haute activité ou de faible et moyenne activité à vie courte consiste en un entreposage de décroissance avant leur acceptation dans un centre de stockage existant ou en projet. L'installation en exploitation DIAM du CEA, ainsi que les installations en projet DIADEM du CEA et ICEDA d'EDF, permettront notamment l'entreposage de déchets solides qui après décroissance radioactive rejoindront la filière FMA-VC. Dans le cas d'ICEDA, le critère qui contraint à entreposer les déchets de FMA-VC d'EDF pour décroissance est essentiellement lié à la réglementation applicable en matière de transport pour les colis de type IP-2 (débit de dose inférieur à 10 mSv/h à 3 m du déchet nu).

L'annexe [3] relative à l'entreposage des déchets décrit les installations susvisées.

2.5 La valorisation des déchets radioactifs

Le recyclage des matières valorisables extraites des déchets constitue une piste à privilégier en application des principes fondamentaux fixés à l'article L.541-1 du code de l'environnement. Il existe sur le territoire français, deux filières de valorisation, mises en exploitation dans les années 2000, permettant la valorisation de déchets radioactifs dans les installations nucléaires :

- l'installation de fusion de CENTRACO permettant le recyclage de déchets métalliques ferreux sous forme de protections radiologiques intégrées au sein de coques béton pour la réalisation de colis de déchets radioactifs ;
- la filière de recyclage du plomb, permettant après décontamination, d'assurer le façonnage du plomb sous forme de protections radiologiques.

Toutefois, la pérennité de ces filières est remise en cause : l'installation de fusion de CENTRACO est arrêtée depuis l'accident du 12 septembre 2011 et l'arrêt de la filière de recyclage du plomb est programmé en 2013.

Les études conduites dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 ont fait émerger deux pistes de valorisation, l'une pour le recyclage de gravats TFA comme matériaux de comblement du stockage du Cires, l'autre pour le recyclage de déchets métalliques TFA ferreux pour la réalisation de colis de déchets radioactifs en fonte. Toutefois, la faisabilité industrielle n'a pas été établie dans le cadre des études menées, notamment pour ce qui concerne le recyclage des déchets métalliques ferreux.

Compte tenu des besoins de plus grande ampleur pour la gestion des déchets TFA, liés aux prochaines opérations de démantèlement/assainissement, confirmés par l'édition 2012 de l'Inventaire national, le PNGMDR 2013-2015 demande la poursuite des études relatives à la mise en œuvre de ces filières de valorisation, en vue de préserver la ressource rare que constituent les stockages.

2.5.1 Contexte et enjeux

Dans le cadre d'une démarche de développement durable visant notamment à préserver l'utilisation des ressources et améliorer l'efficacité de leur utilisation, le recyclage des matières valorisables extraites des déchets doit être privilégié. Cet objectif constitue l'un des principes fondamentaux du code de l'environnement inscrit à l'article L.541-1 qui fixe la hiérarchie des modes de traitement des déchets à privilégier (préparation en vue de la réutilisation ; recyclage ; valorisation et élimination). Cette pratique est courante pour les déchets conventionnels, en particulier pour les déchets métalliques : en France, leur recyclage est évalué à environ 10 millions de tonnes par an sur une production de 15 millions de tonnes.

Sur le plan européen, le recyclage des déchets provenant des installations nucléaires peut être pratiqué avec libération dans le domaine conventionnel, en application de la directive 96/29⁶⁵ et des recommandations techniques associées⁶⁶. Deux filières de fusion dédiées aux déchets

⁶⁵ Directive 96/29/Euratom du Conseil du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.

⁶⁶ Les recommandations techniques publiées par la commission européenne sont disponibles sur le site internet : http://ec.europa.eu/atoz_en.htm, rubrique « ernergy », « 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 ;

métalliques radioactifs (Studsvik en Suède et Siempelkamp en Allemagne) sont opérationnelles, avec un recyclage des matériaux métalliques dans le domaine nucléaire ou conventionnel eu égard aux prescriptions de la directive 96/29/Euratom.

En France, comme indiqué dans la partie 1 du présent rapport, les règles de gestion des déchets au sein des INB et INBS imposent la mise en place d'un zonage déchets distinguant les zones à déchets conventionnels des zones à déchets nucléaires dans lesquelles les déchets produits sont contaminés, activés ou susceptibles de l'être. Les déchets conventionnels, issus des zones à déchets conventionnels, sont gérés selon les filières conventionnelles de gestion des déchets tandis que les déchets issus des zones à déchets nucléaires doivent faire l'objet d'une gestion spécifique et renforcée dans des établissements autorisés à cet effet.

Des filières industrielles de recyclage des déchets radioactifs ont été développées par AREVA, le CEA ou EDF, par l'intermédiaire parfois de filiales de ces entreprises. Elles sont décrites dans le paragraphe 2.5.2. Elles concernent des déchets de très faible activité ou de faible activité. Toutefois, les volumes recyclés au sein de ces installations sont marginaux et ne présentent en particulier pas de gain significatif sur la préservation de la ressource de stockage au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires).

Les besoins de plus grande ampleur pour la gestion des déchets TFA liés notamment aux opérations de démantèlement/assainissement, ont justifié la nécessité d'étudier de nouvelles pistes d'optimisation. De ce fait, la réflexion sur les possibilités de réduire les quantités de déchets livrés dans les centres de stockage grâce à la valorisation d'une partie d'entre eux prend toute sa dimension. Elle justifie qu'ait été demandée, conformément à l'article 5 de l'arrêté du 23 avril 2012 pris en application du décret n°2012-542 du 23 avril 2012 relatif au PNGMDR, « une étude commune portant sur l'intérêt et la faisabilité technico-économique de la valorisation dans la filière nucléaire de déchets de très faible activité, notamment des déchets métalliques et des matériaux concassés ».

2.5.2 Présentation des filières de valorisation existantes et à l'étude

Il n'existe en France actuellement que deux filières industrielles opérationnelles de recyclage de déchets radioactifs :

- une filière de valorisation réservée aux métaux ferreux de faible activité avec l'installation de fusion CENTRACO ;
- une filière de valorisation pour le plomb combinant un four de fusion sur le centre de Marcoule et des installations de façonnage temporairement dédiée aux déchets radioactifs et exploitée dans des installations classées pour la protection de l'environnement conventionnelles.

Les matières recyclées dans ces installations sont réutilisées dans la filière nucléaire. D'autres tentatives de mise en place de filières de valorisation de déchets métalliques, à l'occasion de chantiers de démantèlement particuliers, ont été menées, sans que celles-ci ne débouchent sur la mise en exploitation de filières industrielles.

- Radiation Protection 113, qui propose des seuils de libération massique et surfacique pour la démolition ou la réutilisation des bâtiments.

2.5.2.1 Le recyclage des métaux

Filières existantes

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 inox, acier et métaux non ferreux issus des opérations de maintenance et de démantèlement des installations nucléaires. Les déchets métalliques sont triés et préparés (tri, découpe, mise au gabarit...), puis fondus à 1 600 °C dans un four électrique à induction, d'une capacité de quatre tonnes. Le four est conçu pour traiter 4 500 t/an, la production moyenne depuis 1999 est d'environ 1 700 t/an.

L'unité de fusion, permet, selon les caractéristiques physico-chimiques des déchets métalliques :

- d'en réduire le volume par fusion et moulage des déchets métalliques de faible activité, en lingots acceptables dans les centres de stockage en surface. Le volume des déchets radioactifs ultimes est notablement réduit, et la fusion permet par ailleurs, par ségrégation des radioéléments dans les différents produits et sous-produits de la fusion, d'en déclasser une partie de la catégorie FA à la catégorie TFA ;
- de recycler des métaux ferreux valorisables, correspondant à des critères métallurgiques précis, en fabriquant des Protections Radiologiques Intégrées (PRI) au sein des coques béton destinées à la réalisation de colis de déchets de moyenne activité utilisés dans les centrales nucléaires.

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 PRI entre 2002 à 2010 (55 t/an en moyenne et près de 140 tonnes en 2011). Le four de fusion est arrêté depuis l'accident du 12 septembre 2011⁶⁷, probablement endommagé et par ailleurs, sous scellés. Il n'y a pas de perspective sur l'échéance de son redémarrage, par ailleurs soumis à autorisation de l'ASN.

Le retour d'expérience de la fabrication de Protections Radiologiques Intégrées (PRI) à CENTRACO avec succès pendant 10 ans démontre 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 des PRI limite le niveau de recyclage, car elles induisent des opérations de tri préliminaires conséquentes qui diminuent l'attractivité économique de cette filière.

La filière de recyclage par fusion du plomb de faible activité a été mise en place en juin 2003 dans une installation du site de Marcoule (CEA). Elle permet une décontamination extrêmement efficace du plomb de faible activité par fusion : l'activité du plomb en sortie de four est inférieure ou égale à 0,5 Bq/g en moyenne (les lingots produits par fusion sont ainsi moins radioactifs que du plomb dit « naturel » issu de l'extraction de minerais). La capacité industrielle de traitement est de 400 t/an et la production moyenne d'environ 100 t/an. Le plomb ainsi décontaminé est ensuite mis 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 est contrôlée par audits et repose sur les éléments de traçabilité mis en œuvre, sur l'organisation des installations concernées et sur le respect des spécifications. Des industriels spécialisés assurent *in fine* l'assemblage des pièces en plomb, sous forme de protections radiologiques dans le domaine du nucléaire : emballages de transports, blindages de cellules, etc.

La préparation des déchets FMA-VC de plomb en amont de leur introduction dans le four de fusion se révèle toutefois coûteuse (découpes manuelles, rabotage, séparation des matériaux), rendant l'équilibre économique délicat. L'arrêt de la filière est programmé en 2013.

⁶⁷ 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 ».

Filières à l'étude

Dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, AREVA, le CEA et EDF ont évalué le gisement de déchets métalliques TFA ferreux pour la période 2012-2041. L'inventaire est estimé entre 250 000 et 375 000 tonnes, soit en environ 10 000 tonnes par an. Ceci correspond au millième du tonnage d'acier recyclé en France dans l'industrie conventionnelle.

Un recensement des débouchés potentiels, dans la filière nucléaire française, a été effectué par l'Andra, AREVA, le CEA et EDF. Deux principales familles de produits se sont dégagées : les colis de déchets pour le stockage des déchets radioactifs FMA et les armatures métalliques notamment dans les ouvrages de stockage. Elles offrent un potentiel de tonnage à la hauteur de l'inventaire estimé (potentiel de l'ordre de 300 000 tonnes sur 30 ans).

Pour recycler ces matériaux sous forme d'armatures métalliques, une filière comprenant une aciérie et un laminoir serait nécessaire. La création d'une installation dédiée n'aurait pas de justification économique et l'utilisation d'une installation conventionnelle induirait de fortes contraintes de traçabilité pour un flux marginal par rapport aux quantités usuellement mises en œuvre dans de telles installations. De plus, la gestion spécifique des armatures sur les chantiers de construction et la gestion ultérieure de ces éléments lors des opérations de démantèlement resteraient à traiter. Ce type de recyclage a donc été exclu.

Des flux de l'ordre de 10 000 tonnes par an, comme évoqué précédemment, sont davantage compatibles avec une filière faisant appel à une fonderie. Celle-ci pourrait être dédiée au traitement des déchets radioactifs (les flux d'une fonderie conventionnelle sont de l'ordre de 2 000 à 50 000 tonnes par an). Le développement de colis en fonte pour le stockage des déchets de faible et moyenne activité a été envisagé, en remplacement des colis en béton actuellement utilisés. L'utilisation de colis en fonte nécessiterait cependant de faire évoluer les référentiels de sûreté du centre de stockage des déchets FMA et des installations dans lesquelles seraient conditionnés les déchets. Ces dernières nécessiteraient probablement des aménagements techniques des ateliers de gestion de déchets présents sur les installations nucléaires de base existantes. En conséquence, un délai de mise en place significatif de la filière serait à prévoir, supérieur à cinq ans et vraisemblablement de l'ordre de dix ans, sous réserve de la viabilité économique de cette filière qui nécessite d'être confirmée.

2.5.2.2 Le recyclage des gravats

Une étude de nature analogue a été menée dans le cadre des travaux demandés par le PNGMDR 2010-2012 pour examiner l'intérêt du recyclage de gravats concassés. Cette étude, menée conjointement par l'Andra, AREVA, le CEA et EDF, a permis de préciser la nature du gisement de déchets de gravats à produire et d'esquisser la faisabilité d'un débouché de recyclage de ces déchets comme matériau de comblement dans les zones de stockage du centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires).

L'inventaire de gravats TFA a été précisé et réactualisé. La production se situerait aux alentours de 10 000 t/an (entre 6 000 et 10 000 m³/an), pour un total de 243 000 tonnes (160 000 à 243 000 m³) sur environ 20 ans (2012 à 2033). Sur la base du retour d'expérience des déchets stockés au Cires et sur des déclarations d'activités massiques des producteurs, il a été estimé que 38 % de ces déchets présentent un niveau de radioactivité compatible avec leur réutilisation⁶⁸ dans les alvéoles de stockage du Cires, sans contraintes radiologiques ajoutées pour l'exploitation. En tenant compte de la typologie des déchets et des opérations nécessaires à l'obtention des caractéristiques granulométriques requises, la part exploitable est estimée à 20 %, soit de l'ordre de

⁶⁸ L'évaluation s'est basée sur une valeur préliminaire arbitraire moyenne de 1 Bq/g.

2 000 tonnes par an (2000 m³). Il convient de souligner que ces évaluations, faites *a priori*, comportent des incertitudes liées au déroulement effectif des démantèlements futurs, tant sur le plan quantitatif que sur le plan radiologique.

Concernant les débouchés, le potentiel offert par les besoins de remplissage des zones de stockage du Cires (plus de 10 000 m³ par an de matériau inerte apporté) permettrait de couvrir largement les besoins pour les déchets compatibles avec les contraintes de réutilisation. La substitution de gravats concassés de très faible activité à de la grave non traitée permet de densifier ainsi le stockage en augmentant d'environ 7,5 % le volume de déchets par alvéole. Cependant, son impact sur la consommation de capacité réglementaire de stockage du Cires est limité car la majorité des volumes et les activités déposés dans les alvéoles de stockage devront être comptabilisés dans l'inventaire des déchets stocké au Cires. En revanche, elle contribue à une meilleure utilisation de l'emprise du stockage (en accroissant le volume stocké pour une même emprise au sol).

La faisabilité technique de cette piste de recyclage paraît accessible. L'obtention des caractéristiques requises pour le matériau de remplissage résulte de l'emploi de techniques confirmées. Les dispositions opérationnelles de traitement de ces déchets de gravats et les conditions de réutilisation au Cires seraient à adapter compte tenu des risques associés aux spécificités des gravats TFA mis en œuvre (remise en suspension de poussières, niveaux d'activité massique et de contamination surfacique requis, contraintes d'exploitation,...). La connaissance du niveau réel de radioactivité de ces déchets constitue vraisemblablement le point le plus complexe à obtenir. Des études complémentaires seront nécessaires pour justifier le domaine radiologique d'acceptation de ces déchets pour recyclage sur le Cires. Il convient donc de souligner qu'en tout état de cause, une part significative des gravats TFA (50 à 75 %) devra toujours être stockée sur le centre de stockage sous forme de déchets conditionnés compte tenu de leur niveau de radioactivité ou des incertitudes associées.

La faisabilité économique devra par ailleurs être approfondie, avec une vision globale de la filière depuis la production du déchet jusqu'à sa mise en œuvre, après traitement, dans les alvéoles de stockage. Il conviendra en outre de définir et localiser l'outil industriel permettant le passage à la granulométrie requise pour la réutilisation du grave. Le chiffrage de cette installation et l'analyse économique sur l'ensemble de la filière permettront de conclure quant à la viabilité économique d'un tel projet.

2.5.3 Perspectives⁶⁹

Les filières de recyclage existantes, l'installation de fusion de CENTRACO et l'unité de recyclage du plomb de Marcoule, permettent la valorisation de quantités limitées de déchets métalliques ferreux pour la première et non ferreux pour la seconde. Toutefois, l'installation de fusion de CENTRACO est arrêtée depuis l'accident du 12 septembre 2011 et l'arrêt de la filière de recyclage du plomb est programmé à l'horizon 2013. **AREVA, le CEA et EDF évalueront, en lien avec l'Andra, pour la fin de l'année 2014 l'impact relatif à l'arrêt de la filière de recyclage du plomb. Par ailleurs, AREVA, le CEA et EDF étudieront avant fin 2014 l'opportunité de mettre en place une nouvelle de filière de recyclage du plomb.**

Les études conduites dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 sur le recyclage des gravats et des déchets métalliques TFA font apparaître que le recyclage de tels déchets dans la filière nucléaire pourrait être techniquement envisageable et présenterait des avantages quant à la réduction du

⁶⁹ L'avis n° 2012- AV-0158 du 26 juin 2012 sur la gestion des déchets de très faible activité et de faible et moyenne activité à vie courte 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 ».

volume de stockage consommé au Cires. Il s'inscrit également dans le cadre d'une démarche de développement durable qui prend toute sa dimension compte tenu des besoins de plus grande ampleur pour la gestion des déchets TFA, confirmée par l'édition 2012 de l'Inventaire national qui prévoit la production de 750 000 m³ de déchets TFA en 2020 et 1 300 000 m³ en 2030 (soit environ le double de l'inventaire prévisionnel initial du centre de stockage TFA). Cependant, il apparaît que la faisabilité industrielle n'est pas établie, notamment en ce qui concerne le recyclage des déchets métalliques ferreux.

Le transit des matières par une aciérie conventionnelle est difficilement envisageable compte tenu des exigences de traçabilité qui découlent de l'application de l'arrêté du 31 décembre 1999⁷⁰ : le gisement d'environ 10 000 tonnes par an est en effet faible par rapport aux quantités manipulées dans les aciéries. L'utilisation d'une fonderie dédiée, par exemple pour la fabrication de colis de stockage, serait plus adaptée, mais l'équilibre économique n'est pas garanti et sera de toutes façons fragile ; de plus, le système industriel actuel et le référentiel des installations nucléaires de base existantes nécessiteront des aménagements pour permettre l'introduction de composants nouveaux (référentiel de sûreté du centre de stockage de l'Aube ou des installations nucléaires). Ceci peut conduire à privilégier des débouchés dans des projets neufs (nouvelles installations nucléaires, colis de déchets pour futurs stockages). **L'Andra, AREVA, le CEA et EDF évalueront les modalités de réalisation d'une filière de valorisation des matériaux métalliques et présenteront une synthèse des différents travaux réalisés avant le 31 décembre 2014.**

L'étude relative à la valorisation des gravats de très faible activité présente un scénario de recyclage consistant en l'utilisation de matériaux finement concassés compatibles avec les besoins de comblement sur le Cires. **L'Andra en liaison avec AREVA, le CEA et EDF poursuivront les études quant à la mise en place d'une telle filière de recyclage sur les centres de stockages en exploitation et en présenteront le bilan avant le 30 juin 2014.**

Pour le cas particulier du démantèlement de l'usine Georges Besse I d'Eurodif qui doit produire 130 000 tonnes de déchets métalliques à partir de 2021, la valorisation des déchets doit être privilégiée conformément aux dispositions de l'article L.541-1 du code de l'environnement, sous réserve que leurs caractéristiques soient compatibles avec leur traitement dans les installations existantes ou à l'étude. **AREVA présentera au cours d'une réunion du groupe de travail du PNGMDR les filières de gestion des déchets issus du démantèlement de l'usine Georges Besse I d'Eurodif et plus particulièrement l'inventaire des déchets susceptibles d'être valorisés.**

L'ouverture de nouvelles filières de recyclage nécessite des délais de mise en place significatifs, notamment pour les déchets métalliques, qui ne permettront pas de différer de plus de quelques années la date de saturation des capacités de stockage du Cires. La mise en œuvre de telles filières doit être considérée dans une perspective dépassant le cadre de l'actuel Cires, celle-ci permettra en effet d'économiser les ressources de futurs centres de stockage de tels déchets.

Par ailleurs, le constat du très faible impact radiologique associé à la manipulation des déchets TFA a conduit AREVA, le CEA et EDF à proposer de nouvelles pistes. Les producteurs de déchets ont ainsi souligné le cadre contraignant lié à l'absence de seuils de libération dans la réglementation française et ont évoqué des possibilités de recyclage à l'extérieur de l'industrie nucléaire en exploitant les possibilités offertes par le cadre réglementaire européen. Il convient de souligner que les études visées dans le cadre du présent chapitre devront être menées dans le

⁷⁰ L'arrêté du 31 décembre 1999 fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des INB sera abrogé par l'arrêté 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB, au 1er juillet 2013 sans évolution majeure du cadre réglementaire associé à la gestion des déchets.

contexte français, en prévoyant un recyclage dans les installations nucléaires de base, au sein d'une filière permettant la gestion des déchets radioactifs afin de satisfaire aux exigences de traçabilité associées.

2.6 L'incinération des déchets radioactifs

L'incinération des déchets apporte une réponse concrète à la gestion d'un large spectre de déchets radioactifs TFA et FA. Elle permet par ailleurs de préserver la ressource des stockages en réduisant d'un facteur 10 à 20 le volume des déchets radioactifs ultimes. L'incinérateur de CENTRACO, mis en service en 1999, permet ainsi de traiter des déchets solides (gants, surbottes, plastiques...) et des déchets liquides aqueux, notamment des huiles et solvants, issus de l'exploitation courante des installations nucléaires ou des petits producteurs de déchets hors électronucléaire (hôpitaux...).

L'incinération constitue une filière importante pour la gestion des déchets radioactifs.

L'arrêt de l'incinérateur de CENTRACO pendant près d'un an, en 2011-2012, a révélé la fragilité de la filière. **Le PNGMDR 2013-2015 demande l'établissement d'un retour d'expérience et l'engagement d'actions pour sécuriser les filières de gestion des déchets radioactifs incinérables.**

2.6.1 Contexte et enjeux

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. Il s'agit d'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 quasi-totalité des pays nucléarisés dispose ainsi d'un ou plusieurs incinérateurs de déchets radioactifs en fonctionnement. En France, la filière d'incinération de déchets radioactifs repose sur l'installation CENTRACO, exploitée par la société SOCODEI sur le site de Marcoule et mise en service en 1999. SOCODEI (Société de Conditionnement des Déchets et Effluents Industriels), créée en 1990 par EDF et AREVA, est maintenant filiale à 100% d'EDF. 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 exploitation 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'objectif est d'une part de préserver la ressource que constituent les centres de stockage de l'Andra dans l'Aube (Cires et CSA) en réduisant les volumes de déchets ultimes (de plus d'un facteur dix) et d'autre part, de permettre l'incinération simultanée de déchets liquides : huiles, solvants et effluents aqueux. CENTRACO constitue ainsi une filière incontournable pour les huiles et solvants et sa mise en service a permis de traiter certains déchets qui ne disposaient pas 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 reste généralement la voie privilégiée compte tenu de la forte réduction volumique qu'elle offre.

Dès la mise en service de l'incinérateur de CENTRACO, l'Andra a intégré cet incinérateur dans son dispositif de gestion des déchets des petits producteurs hors électronucléaire. Il a été ainsi possible de traiter des déchets qui ne disposaient pas d'une filière à caractère industriel, comme les déchets putrescibles ou les solvants. D'une manière générale, l'Andra a opté pour l'utilisation de l'incinérateur CENTRACO pour l'ensemble des déchets TFA ou FA susceptibles d'y être traités.

2.6.2 Présentation de la filière

L'incinérateur de CENTRACO a été mis en service en 1999. Il permet le traitement des déchets très faiblement ou faiblement radioactifs (indépendamment de la période des radioéléments) issus d'activités nucléaires et principalement ceux d'AREVA, du CEA, d'EDF et de l'Andra pour le compte des petits producteurs hors électronucléaire. Des déchets des producteurs européens sont également traités sur CENTRACO, les résidus de combustion sont retournés dans ce cas au producteur d'origine.

Deux types de déchets sont acceptés sur l'installation :

- **des Déchets Solides Incinérables (DSI)** pour une capacité de 3 000 tonnes par an ⁷¹: tenues portées par le personnel intervenant dans les installations nucléaires (gants, combinaisons...), déchets combustibles issus de l'exploitation et de la maintenance (emballages, vinyles, chiffons...), ainsi que des déchets d'hôpitaux et de laboratoires utilisant des produits radioactifs ;
- **des Déchets Liquides Incinérables (DLI)** pour une capacité de 2 000 tonnes par an ⁷²: effluents liquides (solutions de lavage, huiles, solvants), résines et boues provenant des installations nucléaires, ainsi que des déchets d'hôpitaux et de laboratoires utilisant des produits radioactifs.

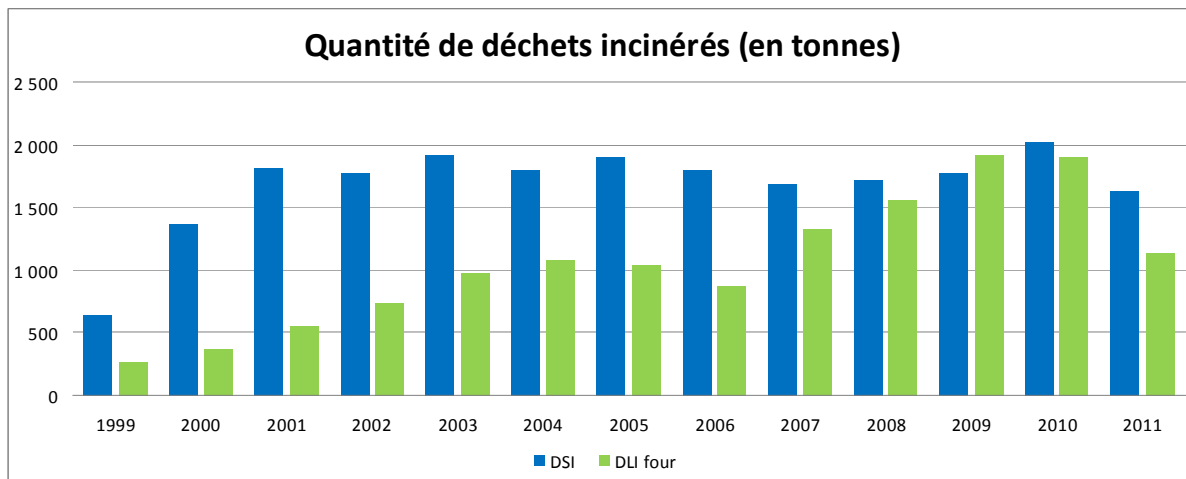
Le four d'incinération est un four statique à trois chambres de combustion, comparable à un incinérateur utilisé dans l'industrie conventionnelle. Sa conception a été adaptée aux exigences des installations nucléaires, notamment en matière de confinement de la radioactivité (mise en dépression par rapport au local dans un bâtiment lui-même en dépression).

Le traitement des fumées, mettant en œuvre les meilleures techniques disponibles, combine les exigences de la chimie et du nucléaire. Les cendres et les mâchefers issus de l'incinération sont bloqués dans un liant hydraulique et conditionnés en fûts métalliques blindés de 400 litres. Ils sont expédiés en tant que déchets ultimes vers les centres de stockage de l'Andra dans l'Aube pour y être stockés.

Depuis son démarrage jusqu'à fin 2011, le four d'incinération a traité près de 22 000 tonnes de (DSI) et 14 000 tonnes de (DLI). Le graphe ci-dessous présente les quantités de déchets traitées depuis 1999.

⁷¹ Activité massique maximale en alpha : 370 Bq/g et 20 000 Bq/g en beta/gamma (activité moyenne sur l'année à respecter : 1 Bq/g en alpha et 1 000 Bq/g en Beta/gamma).

⁷² Activité massique maximale en alpha : 50 Bq/g et 20 000 Bq/g en beta/gamma (activité moyenne sur l'année à respecter : 1 Bq/g en alpha et 2 500 Bq/g en Beta/gamma).



Quantité de déchets incinérés dans l'installation CENTRACO (source : SOCODEI)

L'installation CENTRACO a été arrêtée le 12 septembre 2011, après l'accident industriel survenu dans l'unité de fusion. Par décision en date du 27 septembre 2011, l'ASN avait soumis à son autorisation préalable le redémarrage des fours de fusion et d'incinération de l'installation CENTRACO. Conformément aux dispositions de cette décision, l'exploitant a remis à l'ASN les éléments permettant de justifier que le redémarrage du four d'incinération s'effectuerait dans des conditions de sûreté satisfaisantes. L'ASN a autorisé, par lettre du 29 juin 2012, le redémarrage de ce four, et CENTRACO a procédé à la première réintroduction de déchets mi-juillet 2012.

2.6.3 Perspectives

L'incinération permet aujourd'hui de traiter certaines familles de déchets de très faible et de faible activité, en particulier, des déchets solides ou liquides non admissibles directement dans les centres de stockage de l'Andra du fait de leur état physique. Elle permet par ailleurs de réduire d'un facteur compris entre 10 et 20 le volume des déchets. Elle constitue ainsi une filière essentielle de la gestion des déchets radioactifs.

Au regard des difficultés rencontrées lors de l'arrêt prolongé de l'incinérateur, tant pour la gestion des déchets des petits producteurs hors électronucléaire que pour la gestion de certains déchets des producteurs d'installations nucléaires de base, **l'Andra, AREVA, le CEA et EDF établiront le retour d'expérience des difficultés liées à l'interruption du fonctionnement de l'incinérateur de CENTRACO et des mesures palliatives qu'ils ont dû mettre en place. Une réflexion associant l'Andra, les producteurs de déchets et SOCODEI, devra être engagée pour sécuriser les filières de gestion des déchets incinérables. Des éléments de cette réflexion seront présentés au cours d'une réunion du groupe de travail du PNGMDR.**

SOCODEI envisage une extension du domaine de fonctionnement du four d'incinération de CENTRACO. La capacité de traitement annuelle du four d'incinération ainsi que l'activité des déchets traités pourraient être augmentées. Cette extension permettrait d'incinérer un volume de déchets plus important, notamment en ce qui concerne les déchets liquides, et de traiter un spectre plus large de déchets. L'évolution du domaine de fonctionnement de CENTRACO est soumise à l'autorisation de l'ASN.

2.7 Le stockage des déchets TFA

La politique de gestion des déchets TFA issus des installations nucléaires en France ne repose pas sur des seuils de libération universels mais sur l'origine des déchets au sein de l'installation. 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. Un centre 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.

A la fin de l'année 2011, le volume total stocké au Cires était d'environ 203 000 m³, soit 30% de la capacité réglementaire autorisée (650 000 m³) et les dernières estimations de production conduisent à des besoins à peu près doubles de ceux sur lesquels s'était fondé l'inventaire des déchets à stocker dans ce centre.

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 des 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 à l'horizon 2025.

Le PNGMDR 2013-2015 demande que l'Andra, en lien avec AREVA, le CEA et EDF, établisse un planning prévisionnel de remplissage du stockage des déchets TFA au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) à Morvilliers et propose un schéma industriel global répondant aux besoins de nouvelles capacités de stockage des déchets TFA. Par ailleurs, une recherche d'optimisation globale doit être recherchée en particulier pour les opérations de démantèlement produisant des quantités importantes de déchets TFA. Dans ce cadre, les producteurs devront se rapprocher des différents acteurs publics et notamment de l'Andra. Le PNGMDR 2013-2015 demande qu'un bilan du retour d'expérience de la gestion de ces déchets soit présenté par AREVA, le CEA, EDF et l'Andra.

2.7.1 Contexte et enjeux

Les déchets de très faible activité proviennent essentiellement du démantèlement des installations et dans une moindre mesure de déchets d'exploitation des installations nucléaires. Ils sont notamment constitués de déchets inertes (gravats, terres, sable) et de déchets métalliques⁷³. Certaines catégories de déchets, notamment des déchets liquides et certains déchets solides sont incinérés, 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.

Les déchets TFA correspondent à une catégorie de déchets radioactifs dont le niveau d'activité est suffisamment bas pour ne nécessiter que des protections légères vis-à-vis des opérateurs qui les manipulent. Ils incluent notamment l'ensemble des déchets susceptibles d'être contaminés ou activés issus des zones à déchets nucléaires (voir §1.2), de ce fait la radioactivité de certains déchets TFA est seulement potentielle. Comme indiqué dans la partie 1.1 du présent rapport, la réglementation française ne prévoit pas de libération des déchets sur la base de seuils universels

⁷³ Des filières de valorisations décrites dans le paragraphe 2.4 du présent rapport sont à l'étude.

comme dans la majorité des pays, le stockage dans un centre dédié de tels déchets constitue donc une spécificité française.

Une filière de stockage des déchets TFA, permettant de prévenir les dangers et inconvénients visés à l'article L.511-1 du Code de l'environnement leur a été dédiée avec la création d'un centre de stockage de déchets très faiblement radioactifs. L'installation de stockage des déchets TFA de l'Andra dans l'Aube, est opérationnelle depuis l'été 2003. Avec une capacité de stockage de 650 000 m³ de déchets, elle correspondait initialement au besoin identifié pour une trentaine d'années. Les dernières estimations de production de déchets conduisent à des besoins à peu près doubles de ceux sur lesquels s'était fondé l'inventaire initial des déchets relevant de ce stockage.

La disponibilité de cette filière est importante pour permettre la prise en charge des déchets générés par le développement des opérations de démantèlement, même si la plus grande partie de ces déchets ne sera produite qu'après l'arrêt progressif des 58 réacteurs à eau sous pression actuellement en service, c'est-à-dire en principe après 2030. Néanmoins, la France est déjà confrontée au démantèlement de neuf réacteurs de production d'électricité (dont six de la filière graphite-gaz), de la première usine de traitement de combustibles usés à Marcoule ainsi qu'à celui d'autres installations, notamment des réacteurs ou laboratoires du CEA et du démantèlement à venir de l'usine Georges Besse I d'Eurodif.

2.7.2 Présentation des modalités de gestion

L'affectation des déchets TFA au stockage s'effectue en référence aux spécifications d'acceptation en stockage. Ces spécifications définissent les caractéristiques et les performances, ainsi que les conditions administratives et les contrôles auxquels doivent satisfaire les colis de déchets acceptés sur l'installation. Ainsi chaque lot de déchets ainsi que chaque colis de déchets doivent respecter un indicateur⁷⁴ de radioactivité, calculé à partir des concentrations de radioéléments présents dans les déchets. En général, les producteurs de déchets optent pour des conditionnements dans des emballages standards, tels qu'ils ont été définis en concertation entre l'Andra et ses clients à la l'ouverture de l'installation de stockage des déchets TFA. Ils présentent à l'Andra une demande d'acceptation en stockage au travers d'un dossier dans lequel ils fournissent tous les éléments permettant à l'Andra d'apprécier la compatibilité des déchets avec les spécifications d'acceptation en stockage.

Les déchets sont ainsi conditionnés sur les sites des producteurs dans un objectif de réduction de leur volume et de densification des déchets. Le conditionnement des colis est optimisé (réalisation de plans de conditionnement détaillés ou d'emballages non standards pour des déchets spécifiques, possibilités de regroupements de familles de déchets au sein des colis pour favoriser le comblement, ...) et des outils de traitement sont mis en œuvre sur certains sites (compactage, déshydratation de boues, ...). Le Cires dispose par ailleurs d'une presse à compacter.

AREVA, le CEA et EDF ont examiné dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 les possibilités techniques et l'opportunité économique d'améliorer la densification des déchets en mettant en œuvre une nouvelle filière de traitement. Dans cet objectif, l'étude d'une installation centralisée de densification de déchets métalliques par moyens mécaniques a été réalisée. Cette étude indique, qu'outre les inconvénients techniques liés à cette étape supplémentaire de traitement (dosimétrie supplémentaire, rejets environnementaux,...) et les nombreuses limites et incertitudes (importance et disponibilité du gisement de déchets, gains de densification effectifs, ...), une telle filière

⁷⁴ Cet indicateur, appelé IRAS ou indicateur radiologique d'acceptation en stockage, est une combinaison linéaire des activités spécifiques des radioéléments présents dans le déchet. Il est dérivé notamment de l'évaluation d'impact sur les opérateurs du centre de stockage. Il doit être inférieur à 1 pour un lot de déchets, la valeur pour un colis pris isolément ne devant pas dépasser 10.

générerait, selon les producteurs, des surcoûts de traitement rédhibitoires par rapport au coût de la filière de stockage TFA pour des gains minimes.

L'étude montre qu'en revanche, l'utilisation d'équipements de type presse sur site peut être retenue (c'est le cas du démantèlement des Usines de Diffusion Gazeuse à Pierrelatte) au terme d'une étude technico-économique qui ne peut être réalisée qu'au cas par cas pour tenir compte des spécificités du gisement à traiter (nature des déchets, quantité, disponibilité) et des possibilités d'implantation.

2.7.3 Le stockage des déchets au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)

Dans la mesure où, pour les déchets TFA, le risque radioactif est très faible, alors que la dangerosité chimique de certains déchets TFA peut être élevée, les modalités de stockage sont basées sur les concepts techniques des installations de stockage de déchets dangereux. 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. Les déchets sont ainsi isolés de l'environnement par un dispositif comprenant :

- une membrane synthétique entourant les déchets et permettant le drainage des lixiviats vers des installations de traitements ;
- une épaisse couche d'argile sous et sur les flancs des alvéoles de stockage ;
- une couverture, elle-même en argile, disposée au-dessus des déchets.

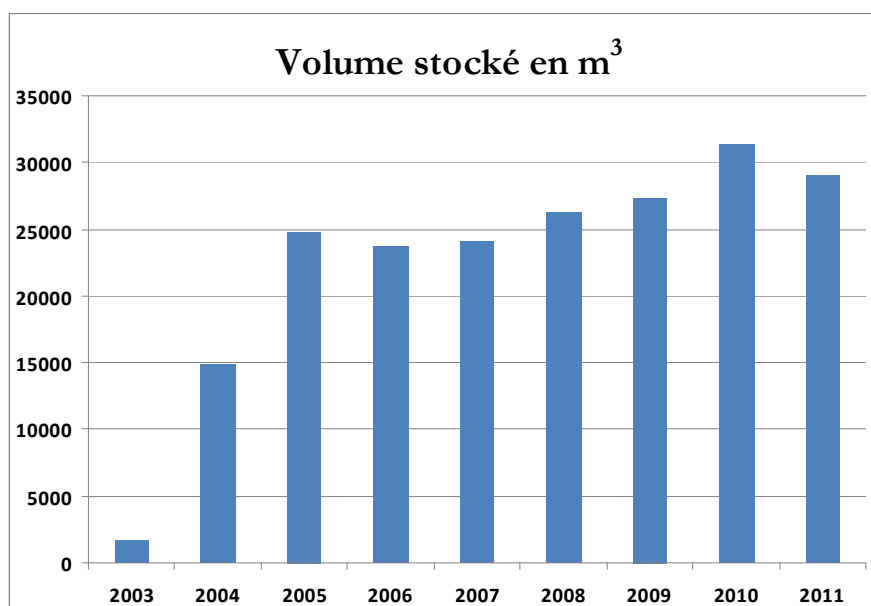
Pendant l'exploitation du centre, la mise en place des déchets s'effectue à l'abri des eaux de pluie grâce à des toits mobiles. A long terme, le confinement des éléments radioactifs à vie longue et des substances chimiques sera assuré par les propriétés de rétention de la formation argileuse qui constitue une barrière passive.

A la fin de l'année 2011, le volume total stocké était d'environ 203 000 m³, soit 30% de la capacité réglementaire autorisée (650 000 m³). Par ailleurs, le Cires dispose d'une limitation globale d'activité pour le stockage, différenciée par radionucléides. Ces limitations ont été déterminées à partir des inventaires prévisionnels, en vérifiant leur compatibilité avec les objectifs de sûreté du centre, dans les scénarios d'évolution normale et altérée. La gestion de la capacité radiologique du Cires ne pose pas de difficulté particulière, l'inventaire radiologique pour chaque radionucléide est en effet à fin 2011 inférieur à 5% de limite autorisée, à l'exception du thorium 232 qui est de 22%. En ce qui concerne la gestion des toxiques chimiques, afin de présenter une approche cohérente de la sûreté de son centre, l'Andra a également réalisé une évaluation de leur impact à long terme comme cela est fait pour les radionucléides afin de s'assurer de l'acceptabilité de celui-ci compte tenu de l'inventaire prévisionnel du centre. Les résultats de ces évaluations n'ont pas conduit à établir de limite d'acceptation des toxiques chimiques dans la mesure où les impacts évalués pour les inventaires prévisionnels respectent les objectifs de sûreté du centre, sauf pour l'amiante, pour lequel une étude est en cours pour préciser les quantités maximales admissibles sur le centre.

Depuis la mise en service du centre, les besoins exprimés par les producteurs de déchets ainsi que l'objectif d'absorber des flux plus importants et d'optimiser le remplissage du centre ont conduit l'Andra à faire évoluer les conditions d'exploitation et la géométrie des alvéoles de stockage. La capacité annuelle de stockage proposée par l'Andra aux producteurs est passée depuis 2009 de 26 000 m³ à 32 000 m³ par an⁷⁵. Ainsi, en 2006, la dimension des alvéoles a été doublée, en 2010 les pentes ont été raidies et les alvéoles approfondies. Il est également envisagé d'augmenter la hauteur de la partie sommitale (dôme) des alvéoles. Ces modifications géométriques ont conduit à rendre le stockage plus compact, c'est-à-dire qu'elles permettent de stocker un volume plus

⁷⁵ La capacité annuelle autorisée par l'arrêté préfectoral est de 50 000 tonnes, elle permet d'accueillir environ 50 000 m³ de déchets.

important de déchets sur la même emprise en surface. Ainsi pour une même emprise au sol, l'évolution des alvéoles devrait permettre une augmentation de la capacité réelle de stockage⁷⁶ par alvéole de 50 à 60%. De ce fait, sous réserve des résultats des études à conduire et d'une modification de l'autorisation après enquête publique, le Cires pourrait accueillir en stockage un volume supérieur de déchets par rapport à la capacité actuellement autorisée sur la même emprise foncière et offrir ainsi une capacité supplémentaire.



Volume des déchets livrés au centre TFA (source : Andra).

Une démarche d'optimisation a également été entreprise conjointement par l'Andra et les producteurs de déchets pour la gestion des déchets « hors normes dimensionnelles » pour lesquels la question de la pertinence d'un conditionnement en emballage standard se pose. Pour la période 2012-2030 un gisement potentiel d'environ 350 colis de ce type représentant 17 000 tonnes a été identifié. Il s'agit pour l'essentiel d'emballages de transport de combustibles usés et de déchets de démantèlement des centrales graphite-gaz (blocs de béton ferraillés). Pour un tel flux, l'Andra considère opportun de développer un alvéole dédiée de stockage qui permette la prise en charge de ces déchets dans des conditions industrielles. Les espaces vides entre les déchets hors normes seront comblés par des colis standards. Ces modalités de gestion ont été intégrées dans l'arrêté préfectoral d'exploitation du centre en date du 9 février 2012. La mise en exploitation d'un alvéole de ce type, d'une capacité de 40 000 m³, suffisante pour le gisement identifié, pourrait intervenir dès 2016.

Une recherche d'optimisation globale est jugée nécessaire par l'ensemble des acteurs mobilisés par la gestion des déchets, et plus particulièrement pour les opérations de démantèlement. L'étude⁷⁷ publiée par l'Agence pour l'énergie nucléaire en 2012 sur la gestion des déchets hors normes dimensionnelles présente des pistes pour cette optimisation applicables plus largement à tous les déchets. Cette étude souligne que le choix du meilleur mode de gestion doit être fait avec le souci d'une optimisation globale des activités : démantèlement, traitement éventuel, transport et stockage. L'ensemble des enjeux (enjeux réglementaires, enjeux techniques et opérationnels, enjeux de sûreté, enjeux économiques, enjeux de planning et enjeux relatifs à l'acceptation par le public et les parties prenantes) doit être considéré de manière transparente par l'ensemble des parties prenantes. Une telle approche d'optimisation implique une mobilisation des acteurs très en

⁷⁶ Pour mémoire le taux de remplissage utile (volume de déchets/volume utile) est de l'ordre de 85%.

⁷⁷ Ce rapport, intitulé « Report on the Management of Large Components from Decommissioning to Storage and Disposal » est consultable à l'adresse : <http://www.oecd-nea.org>, rubrique « works areas », « radioactive waste and decommissioning », « RWM documents »

amont des travaux de démantèlement et doit être menée au cas par cas, en tenant compte des spécificités de chaque projet de démantèlement et des déchets à gérer.

2.7.4 Perspectives⁷⁸

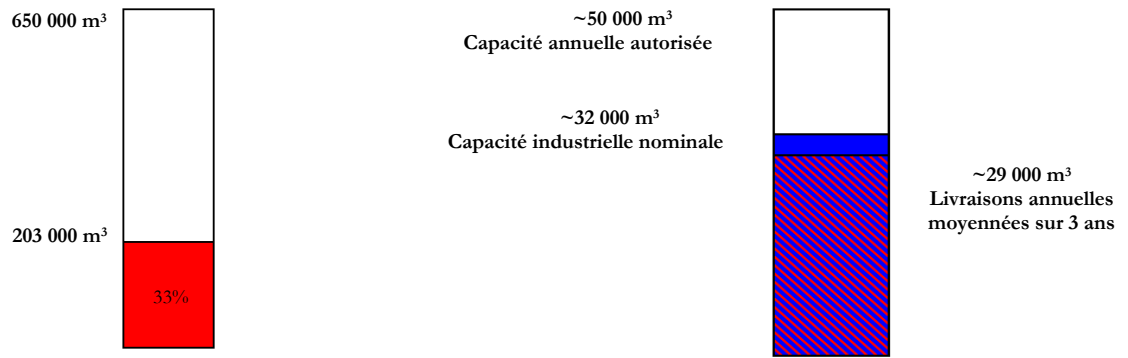
La densité des déchets stockés sur le Cires (autour de 1 depuis 2010) est inférieure à la densité moyenne initialement prise en compte lors de la conception du centre (1,45). Par ailleurs, les flux de déchets livrés ont amorcé une hausse en 2009 liée aux opérations de démantèlement et d'assainissement de nature à se poursuivre. Les prévisions de production de déchets TFA telles que déclarées par les producteurs à l'Inventaire national font apparaître un flux moyen annuel de 55 000 m³ de déchets entre 2020 et 2030 et l'inventaire des déchets à l'horizon 2030 a doublé par rapport à celui pris en compte pour le dimensionnement du centre de stockage TFA en 2003. Les pistes pour réduire les flux de déchets TFA décrites dans le chapitre 2.5 et les efforts de densification des déchets à poursuivre ne feront que différer la saturation du stockage du Cires de quelques années. Les producteurs ont proposé que puisse être exploré le stockage sur les sites des producteurs de certains déchets TFA, dont les quantités le justifient. Toutefois, le stockage de déchets sur site, au sein d'une installation spécialement aménagée et présentant des performances équivalentes au stockage actuel des déchets TFA ne peut être envisagé qu'au cas par cas et sous réserve de son acceptabilité par les parties prenantes, après avis des autorités de sûreté, la filière de référence pour le stockage des déchets TFA étant le stockage au Cires.

La capacité autorisée en stockage au Cires devrait en conséquence être atteinte en 20 ou 25 ans, au lieu des 30 ans initialement prévus. La prise en charge des déchets TFA devrait nécessiter la mise en place d'une nouvelle installation de stockage ou l'extension de la capacité autorisée du centre actuel à l'horizon 2025.

L'Andra, en lien avec AREVA, le CEA et EDF établira pour la fin de l'année 2014 un planning prévisionnel du remplissage du stockage du Cires. Ce planning devra tenir compte des capacités de prise en charge en termes de flux annuels, des évolutions envisagées dans le cadre des études engagées relatives à la valorisation des déchets. Il devra par ailleurs présenter l'évolution prévisionnelle de la consommation de la capacité radiologique du centre. Sur la base de ces éléments, l'Andra proposera mi 2015 un schéma industriel global répondant aux besoins de nouvelles capacités de stockage des déchets TFA.

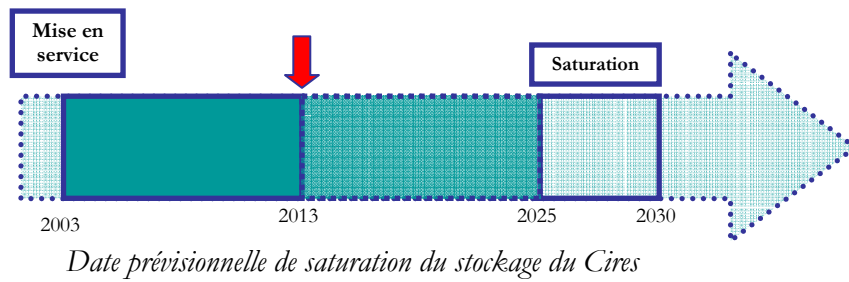
Par ailleurs, une recherche d'optimisation globale sur la base d'une analyse multicritères associant les contraintes réglementaires, les enjeux techniques, de sûreté, économiques, la préservation de la ressource rare de stockage, impliquant l'ensemble des acteurs mobilisés par la gestion des déchets doit être recherchée, en particulier pour les opérations de démantèlement produisant des quantités importantes de déchets TFA. **Les producteurs devront attacher une importance particulière aux options de gestion de déchets de démantèlement et justifier dans leurs dossiers de démantèlement les conclusions de la recherche d'optimisation, en lien notamment avec l'Andra. Dans ce cadre, ils devront se rapprocher également des autres acteurs publics. Un bilan du retour d'expérience de la gestion des déchets des opérations de démantèlement sera présenté au groupe de travail du PNGMDR par AREVA, le CEA, EDF et l'Andra.**

⁷⁸ L'avis n° 2012- AV-0158 du 26 juin 2012 sur la gestion des déchets de très faible activité et de faible et moyenne activité à vie courte 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 ».



*Taux d'utilisation de la capacité de stockage du Cires
(données au 31/12/11)*

Flux annuel de déchets



2.8 Le stockage 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 m³ de colis de déchets et 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. **Le PNGMDR 2013-2015 demande que l'Andra présente les dispositions mises en œuvre pour assurer le maintien de la mémoire du centre de stockage de la Manche.**

A la fin de l'année 2011, le volume total des colis stockés au centre de stockage de l'Aube (CSA) était d'environ 255 000 m³, soit 25% de la capacité réglementaire autorisée (1 000 000 m³). 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 2013-2015 demande le suivi de l'évolution de la capacité radiologique résiduelle du centre tenant compte de l'inventaire prévisionnel des déchets.**

2.8.1 Contexte et enjeux

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (période inférieure à 31 ans) sont essentiellement des déchets liés à la maintenance (vêtements, outils, filtres...) et au fonctionnement des installations nucléaires (traitements d'effluents liquides ou filtration des effluents gazeux). Ils peuvent également provenir d'opérations d'assainissement et de démantèlement de telles installations. Eu égard à leur contenu radiologique, ils sont stockés en surface depuis 1969 : il existe en France deux centres de stockage de ce type : le centre de stockage de la Manche qui n'accueille plus de déchets depuis 1994 et le centre de stockage de l'Aube (CSA) en exploitation depuis 1992. Des centres de stockage en surface ou en subsurface pour les déchets de faible et moyenne activité sont également en exploitation ou en projet dans de nombreux pays. La conception des centres de stockage, ainsi que la profondeur conditionne le type de déchets pouvant être acceptés, notamment en ce qui concerne la durée de vie.

Les centres de stockage de faible et moyenne activité à vie courte sont surveillés pendant une phase dite de surveillance, fixée conventionnellement à 300 ans. Les rapports de sûreté des 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 ne soient pas inacceptables même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation.

Les dernières estimations de production des déchets de faible et moyenne activité à vie courte indiquent que le CSA devrait être en capacité de recevoir l'ensemble des déchets produits par l'exploitation du parc actuel et par son démantèlement.

2.8.2 Présentation des modalités de gestion

2.8.2.1 Les modalités de gestion historique : le centre de stockage de la Manche

Historiquement, la filière de gestion des déchets de faible et moyenne activité à vie courte a été créée en 1969 avec l'ouverture du centre de stockage de la Manche (CSM) autorisé par décret du 19 juin 1969. L'expérience acquise dans les premières années d'exploitation a permis d'élaborer un concept de sûreté associé à ce type de stockage de déchets radioactifs en surface ; les règles d'acceptation ont été également précisées dans des spécifications d'acceptation. Ces standards ont été formalisés dans le cadre de règles fondamentales de sûreté⁷⁹ (RFS) : la RFS I.2 de 1984 et la RFS III.2.e de 1985 révisée en 1995.

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 m³ de colis de déchets y ont été stockés. Les travaux de couverture se sont déroulés de 1991 à 1997. Entre temps le gouvernement avait mis en place une commission d'investigation, commission Turpin, pour statuer sur les conditions de passage en phase de surveillance de l'installation. Cette commission préconisait notamment que l'Andra réalise un dossier dit « mémoire de synthèse » destiné à conserver, pour les générations futures, les informations essentielles relatives au centre de stockage de la Manche.

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 estimé en 2011 à 0,3 µSv/an).

La couverture est constituée d'une membrane bitumineuse pour assurer l'étanchéité. La présence de cette membrane et les pentes des talus périphériques construits dans une emprise exiguë ont conduit à observer 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 nécessiterait une extension de l'emprise du centre pour laquelle l'Andra a engagé une démarche de maîtrise foncière. Sur la base du dossier présenté lors de la révision de sûreté de 2009 du CSM, l'ASN a demandé un dossier complémentaire en 2015 pour pouvoir statuer sur la configuration finale du centre.

Les pratiques mises en œuvre au centre de stockage de l'Aube décrites ci-dessous ont bénéficié du retour d'expérience acquis sur le centre de stockage de la Manche.

⁷⁹ Les règles fondamentales de sûreté sont consultables sur le site de l'ASN : <http://www.asn.fr> rubrique « la réglementation », « règles fondamentales de sûreté et guides de l'ASN ».

2.8.2.2 Les modalités de gestion actuelles

Comme pour l'acceptation des déchets en stockage au Cires, 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. Ces spécifications définissent les caractéristiques et les performances, ainsi que les conditions administratives et les contrôles auxquels doivent satisfaire les colis de déchets acceptés sur l'installation. Les producteurs doivent mettre en place des dispositions de maîtrise de la qualité pour garantir que les colis qu'ils fabriquent industriellement correspondent bien au modèle qui a fait l'objet de l'agrément. L'Andra assure par ailleurs une surveillance de la qualité des colis produits par des inspections 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 exploiterait en propre. La mise en service de cette installation est projetée à l'horizon 2015, sous réserve des autorisations à obtenir.

Pour pouvoir être stockés, les déchets doivent être caractérisés et conditionnés sous forme de colis. Les colis de déchets peuvent être conditionnés soit directement sur les sites des producteurs en vue de leur stockage, soit nécessiter un transit par une installation de conditionnement exploitée par l'Andra sur le site même du CSA (injection des caissons, compactage de fûts) ou par un autre industriel (par exemple SOCODEI pour l'incinération ou la fusion des métaux) sur un autre site. Comme pour les déchets TFA, 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.

2.8.3 Le stockage des déchets au centre de stockage de l'Aube (CSA)

Le principe du stockage au centre de stockage de l'Aube (CSA) consiste à confiner la radioactivité dans des colis et des ouvrages de stockage pour en permettre la décroissance pendant plusieurs centaines d'années. Le contenu radioactif des déchets en radioéléments à vie longue doit être suffisamment faible pour que l'impact du stockage soit acceptable après 300 ans de surveillance, même en cas de dégradation des ouvrages et des colis. L'analyse de sûreté doit également démontrer que l'impact des toxiques chimiques est acceptable.

Le stockage des colis se fait dans des cases en béton, à l'abri de la pluie grâce à des charpentes métalliques mobiles se déplaçant au rythme de l'exploitation. Les colis sont bloqués par des gravillons ou bétonnés dans les ouvrages selon qu'il s'agit de colis à enveloppe durable (colis en coque béton) ou périssable (fûts et caissons métalliques). Ultérieurement, l'ouvrage sera 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.

Fin 2011, environ 255 000 m³ de colis de déchets étaient stockés au CSA soit environ 25% de sa capacité réglementaire. Les flux annuels de livraisons (12 à 13 000 m³) se situent très en deçà du flux de dimensionnement (30 000 m³).

Dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, une analyse de la situation des déchets FMA en entreposage a été réalisée. Sur la base de l'édition 2009 de l'Inventaire national, il ressort que ceux-ci représentent (hors déchets tritiés) 54 500 m³. Les déchets bruts ou non conditionnés sous la forme de colis acceptables au CSA représentent environ 85% de ce volume. Il s'agit principalement de déchets historiques devant faire l'objet d'opérations de reprise et

conditionnement de déchets (RCD). Les 15% restant correspondent à des colis en entreposage à différents stades de leur prise en charge pour stockage.

En ce qui concerne la capacité radiologique, 19 radioéléments font l'objet de limitations. Ces limitations ont été déterminées à partir des inventaires prévisionnels, en vérifiant leur compatibilité avec les objectifs de sûreté du centre, dans les scénarios d'évolution normale et altérée. De même, l'activité globale alpha comptabilisée à 300 ans est limitée. Aujourd'hui, la consommation de la capacité radiologique du centre est inférieure à sa consommation volumique (moins de 15%), à l'exception du chlore 36 (dont la période est de 300 000 ans) puisque l'inventaire stocké correspond à près de 90% de la capacité autorisée. Cette situation n'est pas anormale en ce sens que l'autorisation avait été donnée par l'ASN pour permettre le stockage d'un nombre limité de cases de chemises de graphite entreposées sur le site de Bugey, opération qui a été réalisée. Par ailleurs, l'Andra a engagé une révision des spécifications pour l'acceptation des déchets tritiés de manière à assurer une gestion plus prudente des déchets qui en contiennent, compte tenu de la mobilité de ce radioélément.

Le prochain ré-examen de sûreté du CSA est prévu en 2016. A cette occasion, l'inventaire prévisionnel des déchets à prendre en charge fera l'objet d'une mise à jour sur la base des données réactualisées qui seront disponibles à cette échéance. Les dernières données de l'Inventaire national indiquent que la saturation de cette capacité réglementaire interviendra bien après 2030 et que le CSA sera apte à recevoir l'ensemble des déchets produits par l'exploitation du parc actuel et par son démantèlement. Les programmes de démantèlement pourraient cependant conduire à une augmentation progressive des flux dans les années à venir avec un flux moyen prévisionnel de 20 000 m³ de colis de déchets par an entre 2020 et 2030. Cette mise à jour de l'inventaire prévisionnel permettra également de vérifier que la capacité radiologique du centre est en adéquation avec les besoins de prise en charge.

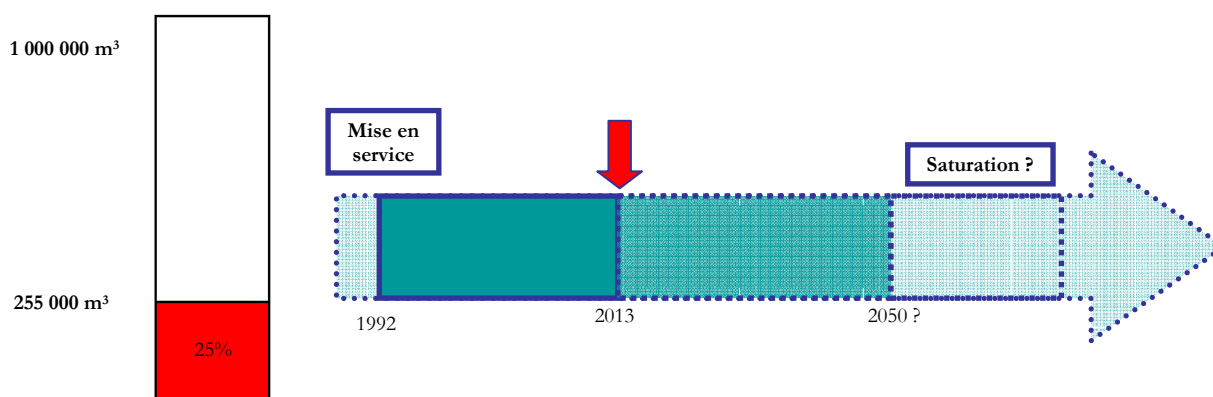
Le stockage de déchets hors normes dimensionnelles est pratiqué au CSA : des couvercles de cuves ainsi que d'autres équipements ont été stockés sans découpage préalable pour conditionnement en colis standards. Toutefois, contrairement au stockage de tels déchets sur le Cires, l'inventaire prévisionnel de ces déchets ne justifie pas la réalisation de nouveaux ouvrages dédiés ; les ouvrages classiques peuvent être utilisés moyennant des dispositions particulières d'exploitation. Les colis hors normes concernés sont notamment : pour EDF, le couvercle de la cuve du réacteur de Chooz A et les 49 colis de protections neutroniques latérales de Creys-Malville (stockage prévu de 2012 à 2014) ; pour AREVA, éventuellement neuf emballages de transport de combustible usé et pour le CEA, six colis cuve et douze colis de générateurs de vapeur provenant du démantèlement de sous-marins. La prise en charge des colis du CEA ne pourrait pas intervenir avant 10 à 15 ans pour tenir compte de la décroissance radioactive nécessaire.

2.8.4 Perspectives⁸⁰

A la fin de l'année 2011, le volume de 255 000 m³ de déchets stockés sur le centre de stockage de l'Aube, représente 25% de sa capacité réglementaire. La diminution de la production de colis destinés au CSA, qui résulte des efforts de réduction à la source ainsi que de l'ouverture de la filière de stockage au Cires et de CENTRACO, permettent d'envisager un allongement significatif de sa durée d'exploitation, initialement prévue pour 30 ans. La consommation de capacité radiologique du centre nécessite néanmoins un suivi particulier.

L'Andra, en lien avec AREVA, le CEA et EDF établira avant le 31 mars 2015 un planning prévisionnel du remplissage du centre de stockage de l'Aube, présentant notamment l'évolution prévisionnelle de la consommation de capacité radiologique du centre.

Le centre de stockage de la Manche constitue le premier centre de stockage de déchets radioactifs en phase de surveillance. **L'Andra présentera, au cours d'une réunion du groupe de travail du PNGMDR, les dispositions mises en œuvre pour assurer le maintien de la mémoire du centre de stockage de la Manche.**



*Taux d'utilisation de la
capacité volumique du
CSA
(données au 31/12/11)*

Date prévisionnelle de saturation du CSA

⁸⁰ L'avis n° 2012- AV-0158 du 26 juin 2012 sur la gestion des déchets de très faible activité et de faible et moyenne activité à vie courte 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 ».

2.9 La gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) sont des déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Il s'agit de déchets à vie longue de faible, voire très faible activité.

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée font l'objet d'une gestion *in situ* ou sont soit éliminés dans des centres de stockage de déchets conventionnels (quatre installations sont autorisées à recevoir des RNR), soit évacués vers les centres de stockage de l'Andra dédiés à la gestion des déchets radioactifs en fonction de leurs caractéristiques radiologiques. Les cendres de combustion peuvent par ailleurs être valorisées pour la fabrication du ciment en raison de leur très faible activité radiologique ajoutée comparée à la radioactivité naturelle déjà présente dans le béton.

L'amélioration des modes de gestion des déchets RNR nécessite une meilleure connaissance du gisement et une traçabilité accrue. **Le PNGMDR 2013-2015 demande une présentation des dispositions réglementaires mises en œuvre pour renforcer la gestion des déchets RNR.**

2.9.1 Contexte et enjeux

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) sont des déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides 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 renforcée 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 2.1). Cet arrêté dresse une liste des activités susceptibles de générer des déchets à radioactivité naturelle renforcée. Ces déchets relèvent de la catégorie :

- des déchets de très faible activité à vie longue (par exemple, déchets de sables de fonderie, déchets de réfractaires à base de zirconium utilisé notamment dans l'industrie verrière...) ;
- des déchets de faible activité à vie longue (par exemple, certains déchets issus du traitement de la monazite, certains déchets issus de la fabrication d'éponges de zirconium, certains déchets issus du démantèlement d'installations industrielles déjà produits ou à venir, provenant par exemple des installations de production d'acide phosphorique, de traitement de dioxyde de titane, de traitement de la farine de zircon, des anciennes activités de traitement de la monazite).

2.9.2 La gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée font l'objet d'une gestion *in situ* ou sont évacuées soit vers des centres de stockage de déchets conventionnels (quatre installations sont autorisées à recevoir des RNR), soit vers les centres de stockage de l'Andra dédiées à la gestion des déchets radioactifs en fonction de leurs caractéristiques radiologiques.

2.9.2.1 La valorisation des déchets à radioactivité naturelle renforcée

Les cendres de combustion peuvent être valorisées dans le domaine de la construction puisqu'elles peuvent entrer dans la composition du ciment et donc du béton.

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.

2.9.2.2 Les déchets à radioactivité naturelle renforcée stockés dans les installations de stockage de déchets conventionnels

La réglementation prévoit la possibilité de stocker des déchets à radioactivité naturelle renforcée 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. Cette circulaire 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.

Ainsi, cette circulaire 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 renforcée 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 par le ministère chargé de l'écologie et l'IRSN en 2006⁸¹. Cette circulaire précise 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 surveillance de l'impact radiologique de l'admission de déchets RNR 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 locales d'information et de surveillance (CLIS) des installations de stockage et, le cas échéant, à la commission départementale pour l'environnement, les risques sanitaires et technologiques (CODERST).

⁸¹ Ce guide est consultable sur le site de l'IRSN : <http://www.irsn.fr>, rubrique « actualités et presse », actualités ».

La circulaire du 25 juillet 2006 susvisée 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 que la circulaire précitée fait état de 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 des RNR a été réalisé par le ministère chargé de l'écologie sur la base des déclarations des Directions régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement. Seules deux installations de stockage ont été identifiées comme autorisées à recevoir des déchets à radioactivité naturelle renforcée, il s'agit des installations de stockage de déchets dangereux de :

- Villeparisis en Ile-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.

De plus, il a été constaté que deux autres installations non identifiées dans le premier bilan réalisé, sont également autorisées à recevoir des RNR, en moindre quantité. Elles ont également réalisé les études leur permettant de recevoir des déchets à radioactivité naturelle renforcée 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 montre l'absence de marquage des eaux souterraines lié à la présence de déchets RNR dans les boues. L'encadrement de la prise en charge des déchets RNR 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 RNR 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 du gisement global pris en charge par ces quatre installations autorisées. En effet, tous les industriels susceptibles de produire des déchets à radioactivité naturelle renforcée 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). La caractérisation vise à identifier les substances contenues dans les déchets et d'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 renforcée et de renforcer la maîtrise des circuits de traitement.

2.9.2.3 Les déchets à radioactivité naturelle renforcée évacués vers les installations de stockage dédiées aux déchets radioactifs

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée 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 2012 de l'Inventaire national recense 7 800 m³ de déchets RNR relevant de cette catégorie à la fin de l'année 2010 hors déchets générés par les établissements thermaux, les papeteries et la combustion de biomasse. Il est prévu que l'édition 2015 de l'Inventaire national soit complétée et recense les quantités de déchets produits par ces trois types d'industries.

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée 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 (voir §3.2). L'édition 2012 de l'Inventaire national recense 17 000 m³ de déchets RNR 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.

2.9.3 Perspectives

L'amélioration des modes de gestion des déchets RNR nécessite une meilleure connaissance du gisement et une traçabilité accrue. Pour cela, **des modifications réglementaires nécessitent d'être menées** afin :

- de préciser les dispositions relatives à l'obligation de caractérisation des déchets imposées à l'article L.541-7.1 du code de l'environnement qui devraient se traduire par l'élaboration d'une fiche d'identification des déchets, imposant pour les activités relevant de l'arrêté du 25 mai 2005 ou toute activité classée génératrice de déchets RNR, une caractérisation radiologique des déchets ;
- de modifier le modèle de bordereau de suivi des déchets fixé dans l'arrêté ministériel du 29 juillet 2005 modifié pour permettre la prise en compte de la référence à la fiche d'identification des déchets correspondant aux déchets faisant l'objet d'un mouvement ;
- d'améliorer la connaissance du gisement, ce qui nécessitera dans un premier temps d'inclure dans la liste européenne des codes « déchets » l'identification des déchets RNR, *a minima* pour les secteurs industriels visés par l'arrêté ministériel du 25 mai 2005. Les autorités françaises pourront en faire la proposition à la commission européenne ;
- d'imposer la déclaration annuelle des déchets RNR issus des installations classées, quel que soit leur régime administratif de classement (modification de l'arrêté ministériel du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets).

Enfin l'arrêté ministériel du 30 décembre 2002 modifié relatif aux installations de stockage de déchets dangereux et l'arrêté ministériel du 9 septembre 1997 modifié relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux devraient être modifiés pour imposer la mise en place d'une surveillance de la qualité radiologique des eaux souterraines, des lixiviats et des boues des installations recevant des déchets à radioactivité naturelle renforcée. Ces modifications devraient aussi imposer un suivi de l'activité volumique des poussières dans l'air.

Un bilan relatif à la mise en œuvre de ces recommandations sera présenté au cours d'une réunion du groupe de travail du PNGMDR par la direction générale de la prévention des risques.

3 Les filières de gestion à mettre en place : besoins et perspectives

3.1 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 2013-2015 demande que l'Andra, en lien avec AREVA, le CEA et SOCODEI, poursuive les études relatives au traitement des déchets tritiés liquides et gazeux issus des petits producteurs hors électronucléaire.**

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 2013-2015 demande la poursuite des travaux engagés dans l'édition précédente relatifs à l'élaboration d'un schéma de gestion des sources scellées usagées.**

Enfin, la prise en charge des déchets des petits producteurs hors électronucléaire nécessite d'être optimisée compte tenu de la nature et des volumes des déchets à traiter. **Le PNGMDR 2013-2015 demande que l'Andra identifie les investissements à réaliser pour garantir la pérennité des filières de gestion des déchets générés par ce secteur.**

3.1.1 Le schéma industriel de gestion des déchets des petits producteurs hors électronucléaire

Depuis 1979, l'Andra (alors au sein du CEA) a assuré la prise en charge des déchets des petits producteurs. Ce secteur désigne des activités non électronucléaires manipulant des matières radioactives et produisant de ce fait des déchets radioactifs. Elles se rattachent notamment au domaine de la santé, de la recherche biologique ou des industries non nucléaires. 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.

L'Andra n'était pas dotée d'installations en propre pour la gestion des déchets du nucléaire diffus lors de sa création en 1991 en tant qu'établissement public indépendant du CEA. De ce fait les prestations sont faites en majeure partie par des prestataires de l'Andra :

- la collecte des déchets est réalisée par des entreprises de transport sous contrat avec l'Andra ;
- le regroupement des déchets collectés est effectué sur une installation (bâtiment 204 - centre de regroupement nord) appartenant au CEA sur le centre de Saclay ;

- le tri des déchets se fait sur l'installation de Socatri à Pierrelatte ;
- les déchets sont, soit incinérés par l'incinérateur CENTRACO de SOCODEI, soit compactés par la presse sur le centre de stockage de l'Aube, soit encore immobilisés dans du béton dans l'atelier d'injection du centre de stockage de l'Aube avant leur stockage ;
- les déchets ne disposant pas encore de filière de stockage sont entreposés à Socatri (Pierrelatte) ou dans différentes installations du CEA.

L'Andra a engagé une reconfiguration de la filière car certains exploitants intervenant pour le compte de l'Andra ont souhaité pouvoir disposer des locaux mobilisés pour d'autres activités (c'est le cas du CEA et de Socatri) en créant en 2012, sur le centre de stockage TFA, appelé maintenant Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) un centre de regroupement et une installation d'entreposage pour les déchets des petits producteurs hors électronucléaire. Par ailleurs, l'Andra considère qu'il convient de privilégier des installations adaptées au mieux à la nature et aux volumes des déchets à traiter afin de minimiser les coûts de traitements.

En conséquence, l'Andra identifiera avant fin 2013 les investissements à réaliser pour garantir la pérennité de la filière de gestion des déchets des petits producteurs et présentera l'avancement de ses réflexions lors d'une réunion du groupe de travail du PNGMDR.

3.1.2 La gestion des déchets contenant du tritium

3.1.2.1 Contexte et enjeux

L'essentiel des déchets tritiés produits en France sont des déchets d'exploitation et de démantèlement des installations liées aux applications militaires du CEA (98%), 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. Ils représentent à fin 2010, environ 4 500 m³ pour un inventaire estimé de l'ordre de 5 000 TBq. Ces déchets sont regroupés en fonction de leur inventaire en tritium et plus particulièrement de leur dégazage.

Les filières opérationnelles aujourd'hui pour l'évacuation de déchets tritiés concernent uniquement les déchets les moins actifs. Ils peuvent être traités dans l'installation CENTRACO pour les déchets liquides. Pour les autres, l'expédition vers les centres de stockage de l'Andra est soumise à de fortes contraintes⁸².

Les centres de stockages en projet pour les déchets de type FAVL d'une part et HA-MAVL d'autre part permettront d'accueillir des déchets contenant des quantités significatives de tritium.

Les déchets actuellement produits par le CEA et ne pouvant être évacués vers les centres de stockage de l'Andra, sont entreposés sur ses sites, en particulier ceux de Valduc et de Marcoule.

Face à cette absence d'exutoire pour la majeure partie des déchets tritiés français, la loi de programme du 28 juin 2006 codifiée relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, prévoyait
« la mise au point pour 2008 de solutions d'entreposage des déchets tritiés contenant du tritium permettant la réduction de leur radioactivité avant leur stockage en surface ou à faible profondeur ». En application du décret n°2008-357 du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au PNGMDR 2007-2009, le CEA a remis fin 2008 un dossier d'orientation pour l'entreposage des déchets tritiés sans filière.

⁸² Pour les déchets reçus sur le CSA, les spécifications d'accueil limitent la quantité de tritium dégagé par jour et par unité de masse à 2 Bq/g/j et l'activité massique à 1 MBq/g.

Le projet d'entreposage des déchets tritiés sans exutoire concerne, selon les données de l'étude, l'ensemble des déchets tritiés solides déjà produits et à produire jusqu'à l'horizon de 2060, date prévisionnelle de la fin du démantèlement des installations ITER (installation de recherche sur la fusion nucléaire). Ainsi, cet inventaire atteindrait à l'horizon de 2060 un volume de déchets tritiés de l'ordre de 30 000 m³ pour une activité radiologique en tritium d'environ 35 000 TBq. Ne sont pas concernés par l'étude, les déchets solides et liquides susceptibles d'être traités dans l'installation CENTRACO, les déchets qui peuvent être évacués dans un centre de stockage de l'Andra sans entreposage préalable et les déchets pouvant a priori être évacués sans entreposage préalable vers les centres de stockage en projet pour les déchets FAVL et HA-MAVL (Cigéo).

3.1.2.2 Présentation des modalités de gestion des déchets tritiés solides

Dans le cadre du dossier d'orientation pour l'entreposage des déchets tritiés sans filière remis fin 2008, le CEA a notamment retenu, à partir de l'inventaire établi, six grandes catégories de déchets sans exutoire :

- les déchets tritiés de très faible activité (déchets tritiés purs ou mixtes) ;
- les déchets tritiés purs peu dégazants ;
- les déchets tritiés purs dégazants⁸³ ;
- les déchets alpha tritiés ;
- les déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie courte ;
- les déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie longue.

A chaque famille de déchets tritiés est associé un concept d'entreposage d'une durée suffisamment longue pour permettre la décroissance de l'activité tritium des colis et leur prise en charge dans de futurs centres de stockages de l'Andra qui prendront en compte, dans leur dimensionnement, les caractéristiques des déchets tritiés en sortie d'entreposage.

Le projet retient pour la conception des entreposages les principes suivants :

- la réception et le déchargement des emballages de transport et des colis pleins ;
- l'entreposage des colis pour une durée de cinquante ans ;
- la conception de structures modulaires adaptées à chaque catégorie de déchets ;
- la surveillance de l'installation et de l'ensemble du site ;
- le contrôle des colis et des emballages ;
- la construction des entreposages à proximité des principaux sites de productions.

Le tri des déchets et la confection des colis sont réalisés par le producteur de déchets. Les opérations de détritiation par étuvage, chauffage ou fusion pour les déchets les plus actifs visant à réduire l'inventaire en tritium ou son dégazage sont également réalisées chez les producteurs.

⁸³ Un déchet tritié est considéré comme peu dégazant si la mesure unitaire de dégazage en tritium de chaque colis est inférieure à 1 GBq/an/colis.

Les caractéristiques générales de tels entreposages figurent dans le tableau ci-dessous.

	Statut réglementaire	Structure	Principe d'entreposage	Ventilation	Capacité	Tenue au séisme	Rejets Annuels en tritium	Impact tritium/scénario			Exutoire final envisagé
								Incendie interne	Sismique	Manutention (dose travailleurs)	
Déchets tritiés TFA	ICPE soumise à autorisation	Module en bardage métallique	Gerbage des caisses sur 3 niveaux	Ventilation naturelle	1 000 caisses (1 PBq)	Pas de dimensionnement au séisme	< 1 TBq	< 5 µSv à 500 m	< 2 µSv à 500 m	< 40 µSv	Type TFA
Déchets tritiés purs peu dégazants	INB	Module en bardage métallique	Gerbage de palettes (4 fûts) sur 5 niveaux	Ventilation Naturelle	15 000 fûts (10 PBq)	Pas de dimensionnement au séisme	20 TBq	< 3 µSv à 500 m	< 15 µSv à 500 m	< 40 µSv	Type FMA-VC
Déchets tritiés purs dégazants	INB	Module en bardage métallique	Gerbage de palettes (4 fûts) sur 5 niveaux	Ventilation par extraction avec cheminée	7 000 fûts (70 PBq)	Dimensionné au Séisme	140 TBq	30 µSv à 500 m	20 µSv à 500 m	0,8 mSv	Type FMA-VC
Déchets tritiés alpha	INB	Voiles béton confinant	Gerbage	Ventilation par extraction avec cheminée	1 000 fûts (10 PBq)	Dimensionné au Séisme	20 TBq	30 µSv à 500 m	1 µSv à 500 m	0,8 mSv	Type FMA-VC
Déchets tritiés irradiants à vie courte	INB	Structure béton (protection radiologique)	Gerbage (manutention à distance)	Ventilation par soufflage / extraction avec cheminée	Equivalent 26 900 fûts de 113 l (12 PBq)	Dimensionné au Séisme	100 TBq	Exclu (colis béton)	20 µSv à 500 m	Exclu (manutention à distance)	Type FMA-VC
Déchets tritiés irradiants à vie longue	INB	Puits ventilés	Puits (7 colis par puits)	Ventilation nucléaire (puits) associée à unité de détritiation	1 232 colis	Dimensionnement au séisme des ponts et puits	35 TBq		70 µSv à 500 m		Stockage géologique profond

Les coûts de ces installations varient en fonction des particularités liées aux déchets et à la présence notamment pour certains d'émetteurs gamma irradiants. Ils varient de quelques millions d'euros pour la construction d'un module d'entreposage de déchets tritiés TFA à quelques dizaines de millions d'euros pour la construction d'un module d'entreposage de déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie longue.

3.1.2.3 Programme de création d'entreposage

Le planning prévisionnel de création d'entreposage pour les déchets tritiés solides présenté ci-dessous tient compte des flux de production des déchets tritiés du CEA et d'ITER. Par ailleurs, compte tenu notamment du volume (environ 60 m³ pour un inventaire global de 30 000 m³ en 2060) et de l'activité (moins de 90 TBq pour un inventaire global de 35 000 TBq en 2060) des déchets tritiés solides issus des petits producteurs, une solution globale de gestion à l'échelle de la France a été proposée par l'Andra et le CEA à l'issue de l'étude réalisée dans le cadre du PNGMDR 2010-2012. Elle consiste en un entreposage des déchets tritiés d'ITER et des déchets des petits producteurs au sein d'une même installation.

Famille de déchets tritiés	Bâtiment d'entreposage	Date prévisionnelle de mise en service	Localisation
Tritiés purs peu dégazants du CEA	Bât. Purs peu dégazant Tranche 1	2012	Valduc
	Bât. Purs peu dégazant Tranche 2	2021	Valduc
	Bât. Purs peu dégazant Bis Tranche 1	2037	Valduc
	Bât. Purs peu dégazant Bis Tranche 2	2041	Valduc
Tritiés de très faible activité du CEA	Bât. TFA	2017	Valduc
Tritiés purs dégazants du CEA	Bât. Purs dégazants	2030	Valduc
Alpha/Tritiés dégazants du CEA	Bât. Alpha tritiés	2017	Valduc
Irradiants tritiés avec radionucléides à vie courte du CEA	Bât. IR VC	2020	Marcoule
Tritiés TFA et FMA-VC d'ITER et des petits producteurs	Bât. Phase 1	2024	Cadarache
Tritiés MAVL et purement tritiés d'ITER	Bât. Phase 2	2055	Cadarache

Planning prévisionnel de construction des entreposages de déchets tritiés

3.1.2.4 Gestion des déchets tritiés liquides et gazeux

L'inventaire des déchets tritiés liquides ou gazeux des petits producteurs représente une faible part de l'inventaire total des déchets tritiés. Il s'agit d'un inventaire fermé, limité en volume mais présentant des activités élevées. Dans le cadre des spécifications d'installations existantes, cet inventaire ne peut être accepté.

Pour les déchets gazeux, la solution de référence apparaît comme étant l'entreposage de décroissance conjoint aux déchets solides tel que décrit dans le paragraphe précédent, après stabilisation pour les ampoules de faibles dimensions.

Pour les déchets liquides dont l'inventaire de dimensionnement s'établit à 500 litres pour 50 TBq, une solidification sur les sites des producteurs est nécessaire avant leur entreposage. Celle-ci ne peut s'envisager sans reconditionnement et assemblage préalables ; elle comporte donc des risques de dégagement de tritium élevés au vu des niveaux d'activité mis en jeu, risques incompatibles avec un traitement local. Aussi la solution privilégiée, au vu des études réalisées dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, serait un traitement en vue d'une élimination sur une installation dotée des autorisations encadrant les rejets, supposant des autorisations spécifiques à obtenir pour l'élimination de ces flux historiques.

3.1.2.5 Perspectives

L'entreposage des déchets tritiés solides sans exutoire concerne l'ensemble des déchets tritiés solides déjà produits et à produire jusqu'à l'horizon de 2060, date prévisionnelle de la fin du démantèlement des installations ITER. L'inventaire des déchets concernés comprend six familles de déchets pour lesquels l'objectif visé est de permettre un entreposage sûr pendant une période d'une cinquantaine d'année préalablement à leur stockage dans les centres de l'Andra. La création de nouvelles installations d'entreposage sur une période d'une quarantaine d'années apporte une solution assurant la sûreté à court et moyen terme de la gestion des déchets tritiés dans l'attente de leur future prise en charge dans les exutoires identifiés. **Le CEA présentera au groupe de travail du PNGMDR un point d'avancement de son programme de création d'entreposage.**

La solution proposée par l'Andra et le CEA pour les déchets tritiés solides issus des petits producteurs, consistant en un entreposage mutualisé avec les déchets d'ITER dont la mise en service est envisagée en 2024, est proportionnée aux enjeux présentés par ces déchets. En l'attente de la mise en service de l'entreposage projeté, **l'Andra étudiera avant fin 2013, la possibilité de prendre en charge sur ses installations les déchets tritiés d'un producteur défaillant ou d'un producteur dont les installations présenteraient des conditions d'entreposage non satisfaisantes. Dans ces cas spécifiques, le CEA s'associera à cette démarche en étudiant la possibilité de prendre en charge de façon transitoire et sous réserve de l'accord de l'Autorité de sûreté compétente, de tels déchets sur ses installations d'entreposage de déchets tritiés.**

La solution retenue par l'Andra pour le traitement des déchets tritiés sous forme gazeuse, ou susceptible de l'être, est un stockage sur le centre de stockage de l'Aube ou un entreposage, après stabilisation si nécessaire. **L'Andra présentera les conditions de stabilisation des déchets tritiés gazeux présentant des risques de bris avant fin 2013. Par ailleurs, l'Andra précisera l'inventaire des déchets gazeux compatibles avec la démonstration de sûreté du centre de**

l'Aube et proposera, avant le 31 décembre 2013, les modalités de prise en charge de ces déchets.

Les déchets tritiés liquides issus des petits producteurs ne peuvent être entreposés dans des conditions de sûreté satisfaisantes sur de longues durées sur les sites des producteurs de déchets. Des solutions de gestion mutualisée doivent être privilégiées pour le traitement ces déchets et une analyse de sûreté globale, incluant les aspects relatifs au transport des déchets doit être menée. **L'Andra poursuivra, en lien avec le CEA, AREVA et SOCODEI, les études préliminaires menées pour le traitement des déchets tritiés liquides issus des petits producteurs et en présentera un état d'avancement avant fin 2013. En particulier, l'Andra précisera l'inventaire des déchets susceptibles d'être traités dans chacune des filières identifiées selon les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques de ces déchets et de leur mode de conditionnement, et les exploitants concernés vérifieront les possibilités de prise en compte de ces déchets en identifiant les autorisations spécifiques à obtenir le cas échéant.**

3.1.3 La gestion des sources scellées usagées

3.1.3.1 Contexte et enjeux

Les sources scellées usagées font l'objet de dispositions particulières pour leur gestion selon le code de la Santé Publique. Cette gestion s'amorce dès la mise sur le marché d'appareils contenant des sources, ce qui permet d'assurer le suivi de ces sources. Environ 40 000 sources sont gérées dans l'inventaire national tenu par l'IRSN. L'article R.1333-52 du code de la Santé Publique impose également que le fournisseur d'un matériel contenant des sources scellées s'engage à récupérer les sources, sur demande de son client, l'utilisateur. Le fournisseur a la responsabilité de la gestion ultérieure de ces sources : entreposage, retour au fabricant, élimination par recyclage ou par envoi dans une filière de déchets radioactifs adaptée à la gestion des sources scellées.

Un système de garanties financières existe pour couvrir les cas de défaillance des fournisseurs pour les sources nécessitant une autorisation. Cette garantie est notamment apportée à travers un système de mutualisation des risques par une association, l'association Ressources, qui couvre les risques de ses adhérents. Les non adhérents à cette association ont la possibilité de déposer une caution auprès de l'Andra, selon un barème établi par l'Andra, qui doit couvrir l'ensemble de la chaîne de gestion des sources, depuis leur récupération jusqu'au stockage.

A ces sources inventoriées dans le fichier national s'ajoutent d'autres sources ou objets qui n'ont pas été enregistrés dans ce fichier, tels que les sources utilisées dans des détecteurs de fumées (on estime leur nombre à 7 millions), les paratonnerres équipés de sources radioactives à l'américium 241 ou au radium 226 (50 000 paratonnerres ont été commercialisés entre 1932 et 1986) ou encore d'autres objets utilisés historiquement (objets radioactifs au radium à usage médical). Les sources exportées par des industriels français, et dont l'utilisateur demande le retour au fournisseur ou au pays d'origine, conformément aux textes internationaux (notamment la convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, traité international régulièrement ratifié par la loi n°2000-174 du 2 mars 2000) ne sont pas non plus inventoriées dans le fichier national.

Fin 2011 l'Andra a mis à jour un inventaire des stocks de sources scellées usagées considérées comme des déchets en liaison avec leurs détenteurs, en application du décret n°2012-542 du 23 avril 2012 fixant les prescriptions du PNGMDR. 3,5 millions de sources scellées usagées ont été

déclarées à l'Andra. Les entreprises du Groupement français des industries électroniques de sécurité incendie (GESI) détiennent environ 74 % des sources scellées usagées (détecteurs de fumée), la Défense Nationale en détient environ 23 % (matériels réformés des armées de type boussoles, cadrans...) et les sources industrielles et médicales représentent environ 3 % (dont les sources du CEA, de la Compagnie pour l'Etude et la Réalisation de Combustibles Atomiques - CERCA, d'EDF ...).

3.1.3.2 Présentation des modalités actuelles de gestion

L'Andra a publié un rapport en 2008 sur les modalités de stockage des sources scellées, dans le cas où celles-ci sont considérées comme des déchets. La spécificité des sources scellées est leur activité concentrée et leur caractère potentiellement attractif. En cas d'intrusion humaine après la perte de mémoire d'un stockage, cette attractivité pourrait entraîner une récupération des sources scellées usagées par des individus en ignorant les dangers. Si l'impact qui résulterait de cette récupération est jugé excessif, la source scellée usagée n'est pas acceptable dans le stockage. En conséquence les conditions d'acceptation des sources en stockage font l'objet de spécifications avec d'une part un critère d'activité portant sur les colis et les ouvrages appelé « limite d'activité massique » (LAM) et d'autre part un critère sur l'activité par radionucléide de chaque source nommé « limite d'activité des sources » (LAS).

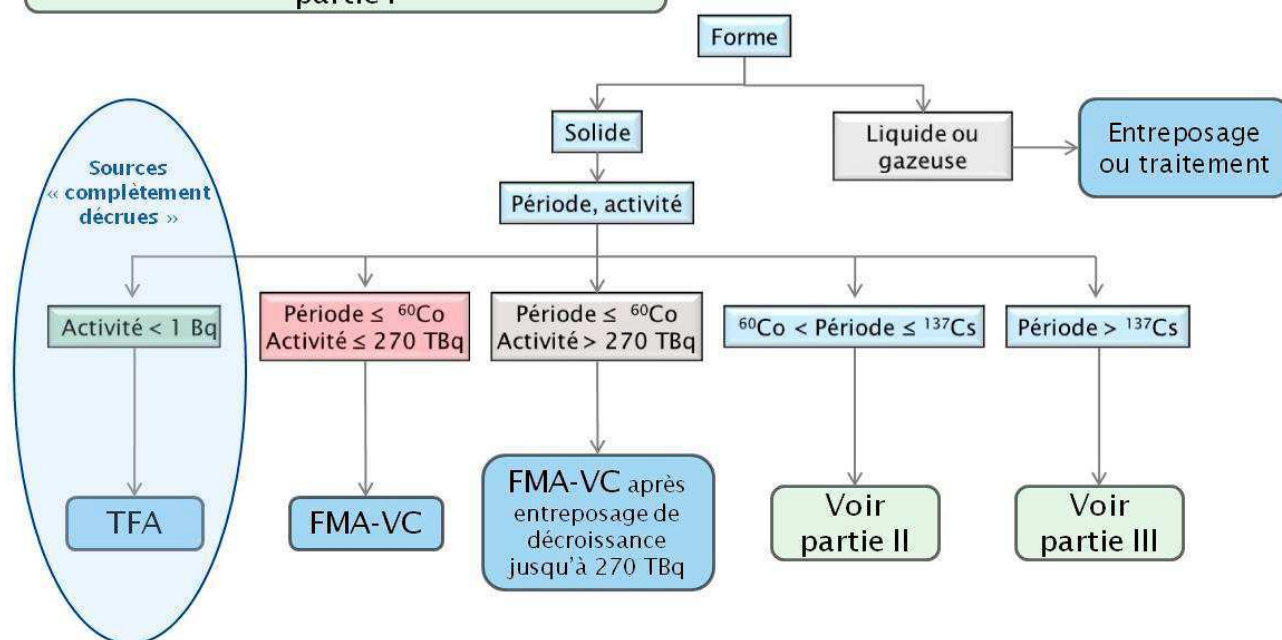
A la mi-2012, les seules spécifications disponibles sont celles relatives au centre de stockage de l'Aube qui peut accepter des sources dont la période radioactive est inférieure ou égale à celle du césium 137, soit 30 ans, avec des activités inférieures à certains seuils définis selon le radionucléide concerné. Pour le centre de stockage des déchets TFA, les spécifications interdisent le stockage de sources mais le cadre réglementaire du centre de stockage du Cires permettrait l'établissement de critères d'acceptation.

Pour les sources non acceptables au CSA, l'Andra a examiné les possibilités de stockage dans la filière FAVL. Ces critères d'acceptation restent à établir pour un futur stockage des déchets de type FAVL.

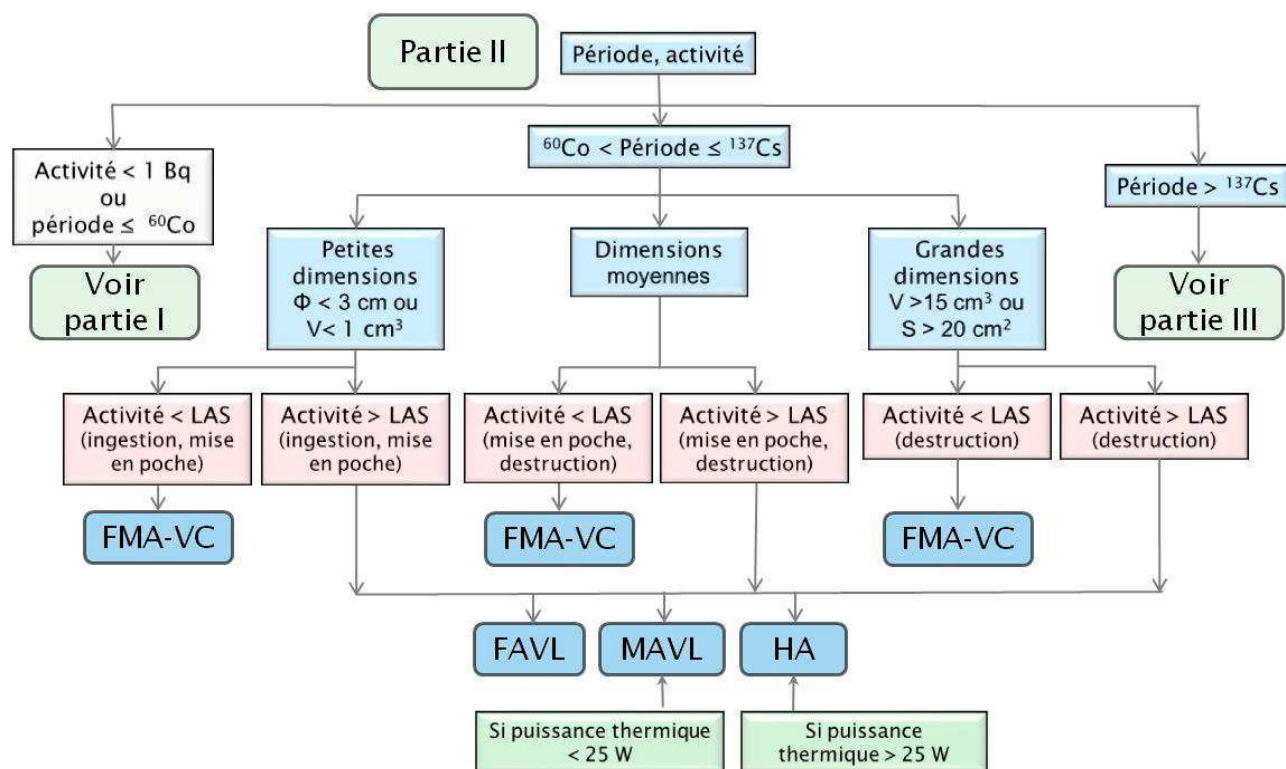
Les sources scellées usagées non acceptables en surface ou à faible profondeur ont été affectées stockage en formation géologique profonde, avec les déchets MAVL pour les sources usagées faiblement exothermiques et avec les déchets HA pour les sources usagées les plus exothermiques.

La méthode d'identification des filières de stockage susceptibles de recevoir chaque type de source est résumée par l'arborescence décisionnelle présentée ci-dessous, appliquant à chaque source scellée usagée les critères successifs suivants : la forme de la substance radioactive, solide, liquide ou gazeuse, la période, courte ou longue, l'activité du colis de stockage, et la compatibilité avec d'autres paramètres de stockage, essentiellement la puissance thermique et la nature chimique.

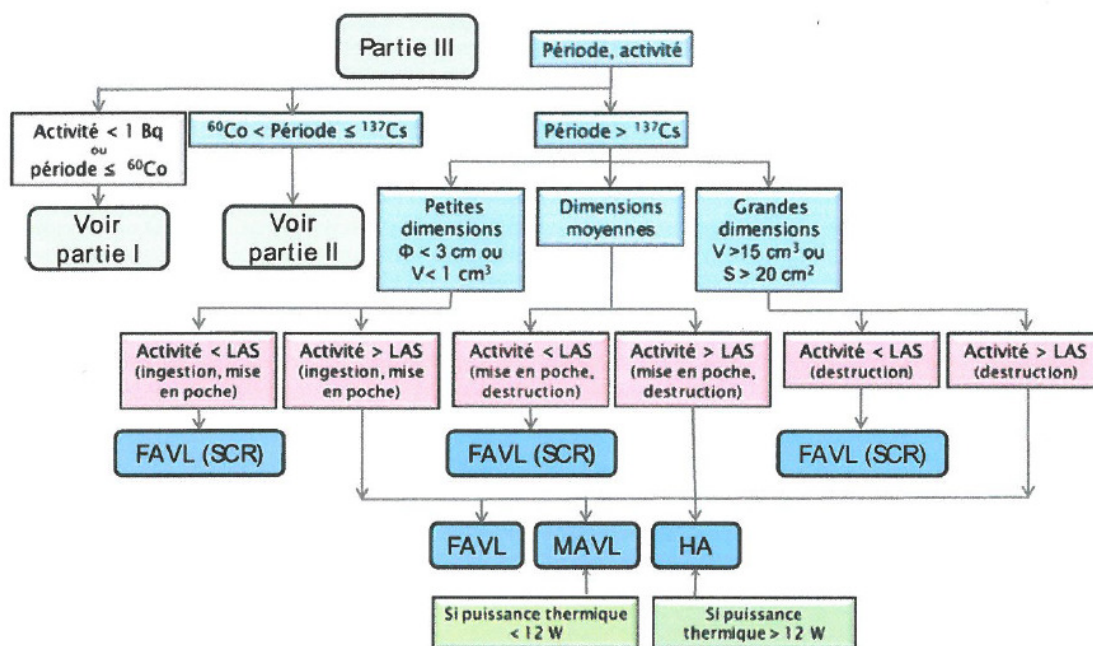
Identification de filières de référence : partie I



Identification des filières de référence : partie 1



Identification des filières de référence : partie 2



Identification des filières de référence : partie 3

Un seuil arbitraire de 1 Bq par source a été utilisé dans le cadre de l'étude pour identifier des sources scellées usagées de très faible activité. Ce seuil pourra être respecté par des sources à période très courte ayant suffisamment décru (typiquement pour une période inférieure à 300 jours environ, comme le polonium 210, le cobalt 57 et le germanium 68) ; il pourra aussi concerner quelques sources à période plus longue mais d'activité initiale très faible. L'Andra propose de stocker ces sources usagées au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) à Morvilliers, la valeur seuil à retenir restant à préciser sur la base d'études d'acceptabilité des sources sur ce centre.

Au plan de la sûreté, toutes les sources scellées usagées au ^{60}Co , et les sources scellées usagées dont la période radioactive est comprise entre celle du ^{60}Co et celle du ^{137}Cs et dont l'activité est inférieure à la LAS pourront être stockées au Centre de stockage de l'Aube. Pour les sources scellées usagées de période inférieure ou égale à celle du ^{60}Co , la sûreté d'exploitation de ce centre impose une activité par colis inférieure à 270 TBq, qui nécessite pour certaines de ces sources, un entreposage de décroissance (jusqu'à une quinzaine d'années).

Les sources scellées usagées destinées au stockage à faible profondeur sont :

- la majeure partie des sources contenant des radionucléides de période longue ;
- des sources neutroniques de radionucléides de période courte mais avec descendant de période longue : ^{233}Pa , ^{244}Cm et ^{252}Cf .

De plus certaines sources scellées usagées constituées de radionucléides de période courte ou moyenne non acceptables au CSA, pourront être stockées à faible profondeur si leur activité reste compatible avec les scénarios d'intrusion à prendre en compte.

Toutefois, les flux effectifs de sources qui pourraient être orientés vers un stockage à faible profondeur ne peuvent être qu'estimés dans la mesure où les spécifications d'acceptation de ce stockage ne sont pas disponibles. Les flux prévisionnels s'établissent de la façon suivante.

Les sources usagées des détecteurs de fumée seraient destinées au stockage à faible profondeur. Les sources (ou les têtes) usagées de paratonnerres à l' ^{241}Am , ainsi que celles au ^{226}Ra et mixtes, pourraient être stockées à faible profondeur. .

Le stockage des aiguilles et autres objets au radium à usage médical est proposé en formation géologique profonde. Les sources usagées les plus actives au ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu , ^{232}Th , neutroniques, les crayons sources des réacteurs EDF et les blocs sources sont destinés au stockage en formation géologique profonde. Il en est de même pour les sources très actives au ^{90}Sr ou ^{137}Cs .

Pour la mise en stockage, les principaux procédés à mettre en œuvre sont un démontage des appareils contenant les sources et un conditionnement approprié à chaque filière de stockage (la majeure partie des sources scellées usagées ne sont pas aujourd'hui conditionnées). Une attention particulière est à porter à la réduction des volumes à stocker, aux contraintes de transport et aux conditions d'entreposage (capacités disponibles en volume et en activité, débits de dose).

Stratégie de gestion du CEA des sources scellées usagées

Les utilisateurs de sources font reprendre leurs sources usagées ou périmées par le fournisseur. Dans les pratiques actuelles, ce fournisseur est soit le fournisseur d'origine, soit un fournisseur ayant repris les activités de ce fournisseur d'origine, soit le fournisseur des nouvelles sources (cas du rechargement d'un équipement ou d'un irradiateur industriel), soit un fournisseur de substitution désigné par l'ASN, en cas de disparition ou de défaillance du fournisseur d'origine.

Les fournisseurs disposent de capacités propres d'entreposage, et font le plus souvent reprendre leurs sources ou lots de sources par un fabricant. Dans les pratiques actuelles, ce fabricant est soit le fabricant d'origine, soit le fabricant actuel des sources distribuées par le fournisseur considéré. En cas de retour vers un fabricant, ou d'envoi vers un fabricant pour recyclage, à l'international, une autorisation d'exporter est nécessaire, conformément à l'article R.1333-17 du code de la santé publique.

Le CEA et CIS-BIO ont été dans le passé de très importants fabricants et fournisseurs de sources scellées. Le CEA a transféré à CERCA son activité de fabrication de sources d'étalonnage scellées et a progressivement cessé ses activités de fabrication de sources scellées : seules subsistent (hors quelques besoins très spécifiques aux activités de défense nationale) deux activités très limitées en volume : la fabrication de chambres à fission qui sont utilisées pour des mesures en réacteurs, et le recyclage ou le remplacement des sources de $\text{Pu } ^{13}\text{C}$ utilisées dans le parc EDF. Le maintien de filières spécifiques de reprise pour ce très petit nombre de sources est problématique à terme. Le CEA souhaite que les utilisateurs de ces sources les gèrent eux-mêmes à l'avenir en tant que déchets radioactifs, lorsqu'elles seront usagées ou périmées.

Le Groupement d'Intérêt Public relatif aux sources radioactives scellées de haute activité (dit « GIP Sources HA ») a été créé dans le but de récupérer, de conditionner et d'entreposer les sources scellées de haute activité (notamment de césium 137 et de cobalt 60) fabriquées et distribuées en France par le CEA jusqu'en 1984 et par CIS-BIO jusqu'en 2006, ainsi que les sources orphelines de même nature.

La stratégie de gestion des sources scellées sans emploi du CEA a été présentée au groupe permanent d'experts pour les installations nucléaires de base autres que les réacteurs nucléaires à l'exception des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs lors de la séance du 15 février 2012, dans le cadre de la stratégie globale de gestion des déchets du CEA.

La stratégie du CEA, incluant l'action du GIP Sources HA, est la suivante pour la collecte des sources :

- les sources irradiantes de Cobalt-60, Césium-137 et quelques isotopes plus rares tels que l'europium sont collectées par l'INB 29 exploitée par CIS-BIO ;
- les sources des générateurs isotopiques au strontium ont été collectées dans le passé et sont entreposées sur les sites CEA de Fontenay aux Roses (INB 165) et de Saclay (INB 72) ;
- les sources neutroniques et les sources de haute activité à base d'isotopes alpha sont collectées par l'installation ATALANTE (INB 148) du CEA/Marcoule ;
- les autres sources seraient collectées par l'installation CERISE (installation classée pour la protection de l'environnement) du CEA/Saclay (ou exceptionnellement par l'INB 72 du CEA/Saclay en cas d'incompatibilité avec le référentiel de l'installation CERISE),

La stratégie présentée par le CEA comporte plusieurs filières d'élimination possibles :

- la possibilité de reprise de la source par un fabricant (généralement, le fournisseur du CEA ou de CIS-BIO) ;
- la possibilité de recyclage de la source par un fabricant ;
- la destruction de certaines sources (sources gaz, liquides, tritium et sources incinérables) ;
- la gestion dans les filières dédiées aux déchets radioactifs tenant compte des spécifications d'acceptation du stockage vers lequel elles seraient orientées.

Le groupe permanent a noté que le CEA avait défini des filières de reprise et d'élimination pour l'ensemble des sources relevant de sa responsabilité, ce qui a été jugé satisfaisant. Toutefois, le groupe permanent a relevé que la mise en place des filières d'élimination ne sera effective qu'après l'obtention de certaines autorisations pour l'utilisation d'installations de conditionnement ou d'entreposage, et sous réserve de la disponibilité de certains emballages de transport.

3.1.3.3 Perspectives

Les sources scellées usagées sont potentiellement valorisables. Conformément aux dispositions du code de l'environnement, il convient de privilégier la réutilisation, puis le recyclage et la valorisation. **Le CEA, en lien avec les autres détenteurs et l'Andra, présentera lors d'une réunion du GT PNGMDR les filières de valorisation des sources scellées usagées et les perspectives de valorisation envisageables pour les différentes catégories de sources inventoriées.**

Les modalités de gestion des sources scellées usagées, dans le cas où celles-ci sont considérées comme des déchets, seront précisées par un groupe de travail, qui s'appuiera sur les travaux engagés dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 sur la base de l'inventaire mis à jour fin 2011.

Plus précisément, les travaux de ce groupe de travail s'organiseront autour des trois axes suivants :

- le traitement et le conditionnement : les sources scellées usagées liquides et gazeuses ne peuvent être stockées directement. Elles nécessitent un traitement préalable dans des installations disposant de moyens adaptés de manipulation et de traitement des effluents. Le groupe de travail poursuivra d'une part, les études préliminaires menées pour le traitement des sources scellées liquides et gazeuses et d'autre part, les études de procédés de conditionnement pour tous les types de sources. Les possibilités de

- mise en commun des moyens de gestion seront recherchées en s'appuyant notamment sur les filières de reprise et d'élimination définies par le CEA pour l'ensemble des sources scellées usagées relevant de sa responsabilité ;
- l'acceptation dans les centres de stockage : l'Andra établira des critères d'acceptation pour le stockage de sources décrues ou de très faible activité au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires), en cohérence avec le périmètre d'exploitation autorisé de ce centre. Sur la base de ces critères et des principes portant sur l'acceptation dans les autres centres en exploitation ou en projet, le groupe de travail précisera l'inventaire des sources scellées usagées susceptibles d'être traités dans chacune des filières identifiées ;
 - le système de garanties financières : le groupe de travail finalisera les travaux engagés dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 afin de mettre à jour et de compléter si besoin le système de garanties financières existant. L'association Ressources sera associée à ces réflexions.

Le groupe de travail remettra fin 2014 une proposition de schéma global optimisé de la gestion des sources scellées usagées considérées comme des déchets, intégrant les conclusions des travaux du groupe sur les trois axes détaillés ci-dessus, et précisant les inventaires prévisionnels par filière en découlant.

Par ailleurs, le CEA présentera au cours d'une réunion du groupe de travail du PNGMDR un point d'avancement des demandes de modification et autorisations éventuelles des installations permettant d'assurer le conditionnement et l'entreposage des sources scellées usagées tels qu'il les envisage pour les sources dont il a la responsabilité.

3.2 La gestion des déchets FAVL

Les déchets radioactifs de faible activité à vie longue (FAVL) 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 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 des résidus de traitement de conversion de l'uranium issus de l'usine Comurhex située à Malvézi. En l'attente de leur stockage, après traitement éventuel, les colis de déchets FAVL sont entreposés dans des installations sur les sites des producteurs.

En 2008, le processus de recherche d'un site de stockage pouvant accueillir les déchets de type FAVL n'a pas pu aboutir. Aussi, afin d'en tirer le retour d'expérience, des groupes de travail se sont constitués, notamment au sein du HCTISN et de la Convention d'Aarhus. Ils ont rendu leurs recommandations afin de mieux préparer la démarche de recherche du futur site de stockage FAVL.

Deux concepts sont envisagés pour le stockage définitif des déchets FAVL : le Stockage sous Couverture Remaniée (SCR), réalisé dans une couche géologique affleurante par excavation puis remblais, et le Stockage sous Couverture Intacte (SCI), creusé en souterrain dans une couche d'argile à une profondeur plus importante. Différents scénarios sont à l'étude pour chacun des types de déchets FAVL. En particulier, la possibilité d'effectuer des traitements et tris sur une partie de ces déchets (déchets de graphite et fûts d'enrobés bitumineux) est examinée afin d'optimiser la gestion des déchets FAVL. Sans préjuger de l'étude à transmettre par l'Andra fin 2012, **le PNGMDR 2013-2015 demande d'ores et déjà la remise d'un rapport sur la faisabilité du stockage à couverture remaniée précisant le périmètre des déchets associé, ainsi qu'un bilan sur la stratégie de gestion des déchets de graphite et fûts d'enrobés bitumineux les moins actifs de Marcoule, s'appuyant sur les travaux menés dans le cadre de la recherche de site et sur les possibilités de tri/traitement.** A titre conservatoire, l'inventaire du projet Cigéo présenté en 2012 dans la perspective du dossier de demande d'autorisation de création prévoit des réserves pour l'accueil éventuel des fûts d'enrobés bitumineux et de déchets issus du tri/traitement des graphites.

3.2.1 Contexte, enjeux et retour d'expérience

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 (FAVL), comme indiqué dans le paragraphe 1.1.3.

Les déchets de graphite sont produits essentiellement par la filière électronucléaire (chemises graphites, empilements), tandis que les déchets radifères proviennent principalement de l'industrie chimique (incluant notamment des déchets à radioactivité naturelle renforcée), 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 les centres industriels de

l'Andra dans l'Aube. Leur faible radioactivité ne justifie toutefois pas de les stocker à grande profondeur.

En juin 2008, le Gouvernement avait confié au Président de l'Andra la mission de lancer l'appel à candidatures auprès des collectivités locales pour accueillir une installation de stockage des déchets de type FAVL. Le Gouvernement avait insisté sur l'objectif de premier rang que constitue l'exemplarité en matière de sûreté nucléaire, de radioprotection et de protection de l'environnement. Il avait également souligné la nécessité d'une concertation approfondie avec les collectivités territoriales et les populations locales concernées pour permettre un dialogue de qualité sur l'impact d'un tel projet en termes environnemental et socio-économique. L'Andra avait ainsi contacté 3 115 communes, dont les territoires étaient géologiquement favorables à l'implantation du centre de stockage, afin de leur présenter le projet. Ces communes avaient jusqu'à fin octobre 2008 pour manifester leur intérêt. Suite à cet appel à candidatures, l'Andra avait reçu une quarantaine de délibérations favorables de conseils municipaux.

Fin 2008, l'Andra remettait au Gouvernement un rapport d'analyse (géologique, environnementale et socioéconomique) de ces candidatures. Le Gouvernement avait ensuite mené des consultations, notamment auprès d'élus, de l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de la Commission Nationale d'Evaluation (en charge de l'évaluation des recherches sur la gestion des matières et déchets radioactifs).

En juin 2009, l'Andra annonçait la décision du Gouvernement de mener des investigations approfondies sur deux communes et de vérifier ainsi la faisabilité d'implantation de l'installation de stockage sur ces territoires. Toutefois, les deux communes retenues après évaluation ont retiré leur candidature. Le Gouvernement et l'Andra, qui s'étaient engagés à ce que les communes puissent se retirer du processus, ont alors pris acte de ces décisions, tout en les regrettant.

Le PNGMDR 2010-2012 demandait que la recherche de site de stockage pour les déchets de type FAVL soit poursuivie avec pour objectif l'exemplarité aussi bien du point de vue de la sûreté, que de la concertation et de la transparence, et en respectant le principe du volontariat des territoires. Ainsi, pour donner du temps à la concertation, l'Etat a décidé de lever les contraintes de calendrier sur le projet de stockage FAVL et a indiqué qu'un débat public serait organisé le moment venu. En parallèle, l'Etat a demandé à l'Andra de ré-ouvrir les différentes options, en examinant la possibilité de gérer séparément les déchets radifères et de graphite, et en poursuivant les discussions avec les territoires où des communes avaient exprimé leur candidature en 2008.

Retours d'expérience

Afin d'analyser l'échec de la recherche d'un site pour l'implantation du stockage FAVL en 2008-2009, plusieurs groupes de travail se sont constitués.

Notamment, le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) a décidé, au cours de sa réunion du 8 octobre 2009, de créer un groupe de travail, le GT FAVL. En parallèle, le HCTISN et l'ANCCLI ont participé au GT1 ACN de l'Aarhus Convention and Nuclear qui a pour mission le diagnostic de l'application de la convention d'Aarhus dans le contexte du projet de stockage FAVL.

Ces groupes de travail se sont réunis à de nombreuses reprises en 2010 et 2011. Leurs travaux ont notamment consisté à mener des auditions conjointes des différentes parties prenantes du projet (acteurs et institutions locaux ou nationaux). A la suite de ces travaux, chaque groupe de travail a émis une synthèse des auditions et un rapport.

Concernant le GT FAVL du HCTISN, le rapport a été adopté lors de la réunion plénière du HCTISN le 15 septembre 2011.

Ainsi, les principaux constats du HCTISN sont les suivants :

- le nombre initial de communes (3 115) était trop important pour mener une démarche d'information préalable convenable ;
- la durée du processus de recherche était trop restreinte et trop contraignante pour permettre un dialogue satisfaisant ;
- l'absence d'implication de l'Etat a été manifeste ;
- l'échelon communal n'était pas adapté ;
- l'annonce du choix des 2 communes sélectionnées a été jugée politique et trop tardive. Les 6 mois de latence entre janvier et juin 2009 ont ainsi contribué à bloquer la concertation et rendre les affrontements possibles.

En outre, le Haut Comité a émis plusieurs recommandations dont un résumé est présenté ci-dessous :

- sur la **sélection de site** : la sûreté doit être le premier facteur de choix d'un site. Un nombre restreint de territoires doit être sélectionné par l'Etat sur recommandation de l'Andra. Le choix de territoires accueillant déjà des installations nucléaires doit être privilégié pour des raisons sociologiques ;
- sur les **contraintes de calendrier** : il est nécessaire de donner du temps pour mener le processus à bien en établissant un calendrier réaliste et pour prévoir un certain nombre d'étapes et de points de rendez-vous, de même que des possibilités de réajustements ;
- sur les **responsabilités** : l'Etat doit s'engager clairement et doit afficher le caractère d'utilité publique et de service rendu à la nation du stockage de déchets FAVL ;
- sur **l'interlocuteur privilégié au niveau local** : l'échelon doit être *a minima* intercommunal avec le soutien de l'Etat et des grandes collectivités ;
- sur **l'information du public** : une large information doit être délivrée à la population présentant notamment les informations techniques (nucléaire, risques, déchets, inventaire, aspects financiers, sociaux et économiques), le déroulement prévu du processus, les points de rendez-vous, la présentation du rôle des acteurs, les modalités d'évolution du projet ;
- sur la **concertation** : celle-ci doit être réelle pour être efficace : le projet doit être suffisamment robuste tout en laissant la possibilité de s'adapter au territoire et de pouvoir procéder à certaines évolutions. La concertation doit avoir un garant sur le plan local ;
- sur **l'accompagnement du projet** : le projet de stockage doit être accompagné d'un certain nombre d'avantages réels sur le plan économique et d'un développement territorial, en permettant plus qu'en promettant, ce qui suppose de discuter avec les territoires et de réaliser avec eux le développement de leurs propres projets industriels, culturels ou autres. Les mesures d'accompagnement doivent être équitablement réparties entre les communes situées à proximité du site d'implantation. Les frontières administratives ne doivent pas constituer un obstacle.

Concernant le groupe de travail de l'ACN, ses travaux se sont achevés en septembre 2011. Les principales recommandations du GT1 ACN sont les suivantes :

- expliquer davantage les enjeux et la problématique (Convention d'Aarhus : article 6.2 – « *Lorsqu'un processus décisionnel touchant l'environnement est engagé, le public concerné est informé comme il convient, de manière efficace et en temps voulu, par un avis au public ou individuellement, selon le cas, au début du processus.* ») ;
- mettre en place des entités référentes permanentes (nationales et locales) ;

- informer régulièrement sur la progression du projet (un calendrier prévisionnel précisant les étapes et les moyens financiers associés au projet. Ce calendrier est révisable en fonction des évolutions techniques, législatives et économiques) ;
- motiver les décisions à chaque étape du processus (envisager la possibilité que les membres du public puissent avoir recours à une institution tierce, neutre et objective) ;
- signer une convention multipartite sur le long terme entre les différents acteurs du niveau national, régional, départemental et local (le principe de gouvernance à long terme fonde le suivi du projet).

3.2.2 L'entreposage des déchets de type FAVL

3.2.2.1 Déchets radifères

A 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 et résidus solides banalisés (RSB) de Rhodia ;
- 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 Rhodia ;
- les déchets provenant de la fabrication d'éponge de zirconium, de sels de zirconium et d'hafnium, à partir d'un minerai de zircon (usine Cézus appartenant au groupe AREVA) ;
- une partie des déchets de la déposante 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.

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 Rhodia.

Les résidus solides banalisés sont entreposés sur le site de Rhodia de la Rochelle. Ces déchets sont disposés en vrac sur une aire étanche sous bâche. Ils représentent une masse de 8 400 tonnes.

Les déchets de Cézus sont entreposés sur le site de Jarrie, dans un bâtiment dédié. La masse de résidus de carbochloration à fin 2010 était évaluée à 1 880 tonnes, celle des résidus de sublimation à 780 tonnes, conduisant à 2 900 tonnes de déchets après mélange et stabilisation. A l'échéance 2030, la quantité de déchets produits est estimée à environ 9 000 tonnes après stabilisation. Depuis 2005, les déchets non stabilisés sont conditionnés dans des fûts en acier renforcé de 220 litres. Le bâtiment d'entreposage de Cézus a une surface de 6 000 m² et une capacité de 4 500 tonnes. Sur la base du flux de production actuel, ceci lui confère une capacité d'entreposage jusqu'en 2023.

Les déchets de la déposante d'Itteville du CEA sont entreposés sous une couverture d'argile sur un site annexe de celui de l'ancienne usine du Bouchet. La masse totale des déchets entreposés est de 40 000 tonnes, dont une partie pourrait relever de la catégorie TFA.

D'autres déchets de type FAVL provenant de filières hors industrie électronucléaire vont être entreposés par l'Andra dans son nouveau bâtiment d'entreposage des déchets de type FAVL 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 5 000 m³. A fin 2008, le volume de déchets à

entreposer est estimé à 2 200 m³. Le volume total de ces déchets présente des incertitudes dues au nombre de sites 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. L'évaluation de ce besoin sera tenue à jour en lien avec l'avancement des études concernant la gestion de ces déchets.

3.2.2.2 Déchets de graphite

Les déchets de graphite représentent une masse d'environ 23 000 tonnes. 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 tonnes.

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 tonnes. 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 tonnes 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 à produire par les opérations de démantèlement est lié :

- aux résultats des études de scénarios de gestion à long terme (voir section 3.2.3) ;
- au calendrier de démantèlement des réacteurs UNGG ;
- aux contraintes 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 de 3800 tonnes. 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 FAVL, afin d'évacuer en ligne les colis de déchets).

3.2.2.3 Fûts d'enrobés bitumineux de type FAVL

Les fûts d'enrobés bitumineux (FAVL et MAVL) sont entreposés dans les casemates de la STEL à Marcoule, construites entre 1966 et 1994. La totalité des casemates doit être progressivement reprise. Dans ce cadre, une partie de ces fûts a été extraite et reconditionnée pour un entreposage dans l'EIP (entreposage intermédiaire polyvalent mis en service en 2000). Le CEA s'est engagé auprès de l'autorité de sûreté 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.

Plusieurs nouveaux scénarios de reprise, conditionnement et entreposage des déchets sont étudiés par le CEA en lien avec l'Andra, tout en maintenant les objectifs de référence précités.

3.2.2.4 Les déchets des bassins de décantation de l'usine Comurhex de Malvési

Le cas des déchets déjà produits et entreposés sur le site de Malvési est traité dans le chapitre 2.1.

Les déchets à produire 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, Comurhex prévoit, à court terme, l'aménagement d'alvéoles ou casiers d'entreposage à l'emplacement ces deux bassins de décantation.

Concernant la gestion à long terme des déchets à produire, Comurhex a présenté une solution commune de gestion à long terme des déchets déjà produits et à produire : le stockage sur site, selon plusieurs concepts de stockage. L'ASN a indiqué dans son avis n°2012-AV-0166 du 4 octobre 2012⁸⁴ qu'il convenait de distinguer la gestion des déchets déjà produits de celle des déchets à produire et que ces derniers devaient faire l'objet d'une gestion dans les filières appropriées répondant aux exigences en vigueur pour la gestion des déchets radioactifs.

3.2.3 Les scénarios de gestion des déchets de type FAVL

3.2.3.1 Rappel des options de conception d'un stockage à faible profondeur

Deux options de conception se distinguant notamment par leur profondeur et l'épaisseur de la couche argileuse hôte sont considérées par l'Andra pour le stockage de déchets de type FAVL.

L'option de stockage sous couverture remaniée (SCR) repose sur une implantation du stockage dans une couche géologique affleurante de faible perméabilité avec une composante argileuse ou marneuse dominante. On considère à ce stade la réalisation d'une excavation à ciel ouvert jusqu'au niveau du stockage. Les alvéoles de stockage sont creusés à même l'argile. Les déchets sont conditionnés dans des conteneurs et stockés en alvéole. Une fois remplis, les alvéoles sont couverts d'une couche d'argile compactée, provenant des déblais du site, puis d'une couche de protection végétale reconstituant le niveau naturel du site.

Dans un stockage sous couverture intacte (SCI), les alvéoles de stockage creusés en souterrain sont implantés dans une formation argileuse épaisse à une profondeur pouvant aller jusqu'à 200 m. L'accès s'effectue par une descenderie et des galeries longitudinales. Une fois le stockage exploité, des scellements sont posés et les galeries et les descenderies sont remblayées par les déblais du site.

⁸⁴ L'avis n°2012-AV-0166 du 4 octobre 2012 sur la gestion des situations temporaires ou historiques sera 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 »

3.2.3.2 Déchets radifères

La faible mobilité des radionucléides contenus dans les déchets radifères⁸⁵ et la décroissance significative de leur activité radiologique à l'échelle de quelques dizaines de milliers d'années⁸⁶ permettent leur stockage en SCR. Une attention particulière doit néanmoins être portée à l'inventaire en radioéléments à vie très longue (uranium, thorium) et au contenu chimique des déchets. Le rapport de l'Andra attendu fin 2012 présentera un bilan relatif aux performances du stockage de ces déchets en SCR. Pour le cas particulier des résidus solides banalisés (RSB), Rhodia mène des études pour explorer d'autres pistes de gestion, notamment :

- l'extraction des terres rares et du thorium contenu dans le cadre d'une valorisation avec les matières thorium (Hydroxyde Brut de Thorium et nitrates de thorium). Le développement de ce nouveau procédé de valorisation pourrait permettre de réduire d'un facteur quatre le volume des déchets prévisionnels qui seraient issus de la valorisation des Hydroxyde Brut de Thorium. Ce traitement pourrait également conduire à déclasser les RSB dans la catégorie TFA ;
- l'incinération des résidus solides banalisés et l'utilisation des cendres comme matériau de remplissage des conteneurs de stockage des fûts de résidus radifères (dans l'hypothèse où un suremballage est considéré pour les résidus radifères) ;
- stockage dans les bassins de résidus de traitement dynamique des minerais d'uranium.

3.2.3.3 Déchets de graphite

Les études et recherches menées par l'Andra jusqu'en 2009 ont montré qu'un SCR ne permettrait pas d'atteindre des performances suffisantes en termes de retard et d'atténuation du relâchement pour les déchets de graphite en raison de leur inventaire présumé en produits d'activation à vie longue mobiles. La sûreté à long terme du stockage impose donc une barrière argileuse épaisse, performante et durable entre les déchets et l'environnement conduisant l'Andra à proposer un stockage sous couverture intacte (SCI) pour ces déchets⁸⁷. Toutefois, les inventaires radiologiques ayant servi de base à ces études ont depuis été significativement réévalués à la baisse par les producteurs à la suite de travaux complémentaires de caractérisation.

Depuis 2010, les récents développements en matière de procédés de traitement et les évolutions en matière de caractérisation radiologique ont conduit l'Andra, EDF et le CEA à envisager d'autres scénarios de gestion, fondés sur des opérations de traitement et de tri en amont, pouvant élargir le choix de filières de stockage. En plus du scénario qui considère le stockage de la totalité des déchets de graphite en SCI, les scénarios industriels alternatifs suivants sont ainsi étudiés pour les déchets de graphite d'EDF et du CEA :

- tri des déchets pour un stockage des empilements en SCR et des chemises dans le centre de stockage en projet Cigéo ;
- extraction de radionucléides (³⁶Cl, ¹⁴C, ³H,...) avec stockage du graphite partiellement décontaminé en SCR et des résidus concentrés dans le centre de stockage en projet Cigéo ;

⁸⁵ Sous réserve du maintien de conditions physico-chimiques et hydrauliques favorables.

⁸⁶ Cette échelle de temps correspond à la préservation de l'intégrité du stockage en lien avec les temps caractéristiques d'évolution géodynamique (externe, glaciation).

⁸⁷ La barrière argileuse permet de confiner les radionucléides de faible mobilité et de limiter la dispersion des radionucléides mobiles à vie longue.

- destruction totale (par gazéification) du graphite après décontamination avec stockage des résidus de traitement dans le centre de stockage en projet Cigéo.

Ces scénarios sont évalués par l'Andra, en lien avec EDF et le CEA, du point de vue de la sûreté, des aspects technico-économiques et des risques techniques et réglementaires. Le rapport l'Andra attendu fin 2012 présentera un bilan intermédiaire de ces travaux.

Du point de vue de la sûreté, l'acceptabilité en SCR des empilements ou du graphite partiellement décontaminé dépendra notamment :

- du terme source de ces déchets : activités radiologiques résiduelles en ^{36}Cl et le cas échéant en ^{14}C sous forme organique, cinétique de relâchement des radionucléides ;
- des caractéristiques du site ;
- de l'inventaire radiologique total qui sera considéré *in fine* dans ce stockage.

Du point de vue technico-économique, l'évaluation ne pourra être conclusive qu'à l'horizon 2015.

Les déchets de graphite et de magnésium d'AREVA proviennent du traitement des combustibles UNGG, ils représentent une masse d'environ 1 100 tonnes 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. L'option de traitement de ces déchets historiques a été écartée par AREVA en raison de l'hétérogénéité de ces déchets (mélanges graphite / magnésium / ...) qui imposerait un tri visant à séparer et extraire les substances de nature différentes. Ces opérations de tri ne pourraient pas, selon AREVA, garantir l'absence de substances incompatibles avec le traitement de tels déchets.

En l'absence de la disponibilité du stockage FAVL en cohérence avec la reprise et le conditionnement des déchets graphite/magnésium de la Hague, AREVA envisage un entreposage sur site.

A titre conservatoire, l'inventaire du projet Cigéo présenté en 2012 dans la perspective du dossier de demande d'autorisation de création prévoit des réserves pour l'accueil éventuel de déchets de graphite. L'activité radiologique totale est prise en compte ; cette activité sera supposée concentrée dans un volume de colis de stockage réduit issu pour partie d'opérations de tri ou traitement.

3.2.3.4 Fûts d'enrobés bitumineux de type FAVL

A la demande du CEA, l'Andra a mené en 2009 une étude d'acceptabilité au plan de la sûreté des enrobés bitumineux les moins actifs de Marcoule en SCR. Les fûts d'enrobés anciens considérés dans l'étude sont ceux qui satisfont simultanément les deux critères suivants :

- activité alpha par fût $\leq 10,72 \text{ GBq}$ à 300 ans.
- débit de dose au contact du fût $\leq 60 \text{ mGy/h}$.

Sur ces bases le CEA a évalué aujourd'hui le nombre de fûts concernés à environ 40 000. Les fûts d'enrobés bitumineux qui relèveraient de la catégorie de type FAVL seront identifiés et caractérisés pendant les opérations de reprise et de tri.

Du point de vue de la sûreté, les résultats obtenus montrent que l'acceptabilité en SCR des fûts d'enrobés bitumineux dépend :

- des activités radiologiques, notamment en radionucléides mobiles (^{129}I , ^{36}Cl) ;
- des caractéristiques du site ;
- de l'inventaire radiologique total qui sera considéré in fine dans ce stockage.

L'Andra et le CEA ont défini plusieurs scénarios de gestion à étudier :

- un stockage en SCR (scénario de référence du CEA) ;
- une caractérisation et un tri permettant le stockage des bitumes les moins actifs en SCR et des autres bitumes dans le centre de stockage en projet Cigéo ;
- un traitement (hypothèse entièrement prospective) avec un stockage des résidus concentrés/cendres dans le centre de stockage en projet Cigéo ;
- un stockage en SCI avec les déchets de graphite (si cette solution était retenue pour les déchets de graphite) ;
- un stockage dans le centre de stockage en projet Cigéo (en tant que réserves de l'inventaire).

A titre conservatoire, l'inventaire du projet Cigéo est complété par des réserves pour le stockage éventuel des enrobés bitumineux de type FAVL. Un volume de colis de stockage de 39 000 m³ est pris en compte dans les réserves de l'inventaire du projet Cigéo.

3.2.4 Perspectives

3.2.4.1 Scénarios de gestion des déchets

Concernant les déchets radifères, la majorité des déchets est déjà produite et est actuellement entreposée dans l'attente d'une filière de stockage. Le calendrier de mise en œuvre de cette filière impactera le besoin en capacité d'entreposage supplémentaire ainsi que le calendrier des opérations d'assainissement des sites pollués et d'évacuation de la dépositrice du CEA à Itteville (Essonne). **L'Andra étudie la possibilité de prendre en charge les déchets radifères dans un stockage sous couverture remaniée (SCR), dans une couche géologique à dominante argileuse affleurante ou sub-affleurante présentant une épaisseur suffisante.** Des investigations géologiques sont nécessaires pour poursuivre les études de faisabilité.

Concernant les déchets de graphite, 20 % des déchets en masse sont entreposés en attente d'une solution de stockage. Pour les autres déchets qui seront produits lors du démantèlement des réacteurs UNGG, le respect du calendrier de démantèlement suppose de mettre en œuvre une solution de stockage précédée ou non d'une phase d'entreposage, en fonction de la date de disponibilité du stockage.

EDF a lancé, en lien avec le CEA qui dispose des laboratoires de recherche permettant d'étudier des échantillons de graphite réels actifs **et l'Andra, un programme de R&D pour évaluer les possibilités de mise en œuvre de procédés de décontamination et/ou de gazéification du graphite.** Ce programme, déployé de 2012 à 2014, étudie différentes voies de traitement et de modes de conditionnement des résidus concentrés. **Il permettra de disposer à fin 2014 des performances accessibles par les voies de traitement et des coûts associés.** Parallèlement, EDF et le CEA poursuivront leurs actions pour consolider la connaissance du contenu radiologique de leurs différents types de déchets de graphite.

L'Andra poursuivra d'ici 2015 les analyses relatives à l'acceptabilité des déchets de graphite issus des scénarios considérés dans les différents types de stockage ainsi qu'à l'acceptabilité des modes de conditionnement des déchets. Afin de statuer sur la possibilité de prendre en charge une partie des déchets de graphite (éventuellement décontaminés) dans un stockage sous couverture remaniée il sera nécessaire de réaliser des investigations géologiques et de disposer d'éléments complémentaires sur l'inventaire radiologique de ces déchets. L'ensemble de ces éléments permettra de définir la filière de gestion des différents déchets de graphite d'ici 2015. Les capacités futures d'entreposage nécessaires seront précisées par les producteurs en tenant compte des résultats des études des différents scénarios de gestion envisagés pour ces déchets et des données fournies par l'Andra. A titre conservatoire, l'inventaire du projet Cigéo prévoira des réserves pour l'accueil éventuel des déchets de graphite. L'activité radiologique totale sera prise en compte et sera supposée concentrée dans un volume de colis de stockage réduit issu pour partie d'opérations de tri ou traitement.

Concernant les fûts d'enrobés bitumineux, actuellement entreposés sur le site de Marcoule font l'objet d'opérations industrielles de reprise et reconditionnement par le CEA, **l'Andra poursuivra les études d'évaluation de sûreté du stockage des déchets d'enrobés bitumineux de type « FAVL » dans un stockage sous couverture remaniée en fonction des données de site et des caractérisations complémentaires menées sur les déchets par le CEA. Le CEA fournira d'ici fin 2013 l'analyse technique et économique concernant l'option du traitement chimique ou thermique de ces bitumes pour tenter d'immobiliser dans d'autres matrices les déchets radioactifs qu'ils contiennent.** Les capacités futures d'entreposage nécessaires seront précisées par le CEA en tenant compte des résultats d'étude des différents scénarios de gestion envisagés pour ces déchets et des données fournies par l'Andra. L'ensemble de ces éléments permettra d'élaborer une filière de gestion de ces déchets et contribuera aux décisions que le CEA doit prendre en 2014 sur les investissements industriels à réaliser sur le site de Marcoule. A titre conservatoire, l'inventaire du projet Cigéo prévoira des réserves pour le stockage éventuel de ces déchets bitumés.

Concernant les déchets à produire par l'usine Comurhex de Malvési, il est prématuré de ne retenir qu'une solution unique pour la gestion des déchets générés par l'établissement de Comurhex et **il convient de distinguer la gestion à long terme des déchets produits depuis 1960, de la gestion des déchets à produire d'ici 2050.** Ces derniers doivent faire l'objet d'une gestion dans les filières appropriées répondant aux exigences en vigueur pour la gestion des déchets radioactifs. Ainsi, pour les déchets à produire, Comurhex devra se rapprocher de l'Andra pour étudier les conditions de gestion de ces déchets, les synergies possibles avec certains déchets uranifères ou thorifères et leur impact sur l'ensemble de la filière FAVL. **L'Andra et Comurhex présenteront au plus tard le 31 décembre 2013 un rapport d'étape où figureront les orientations envisagées et les filières optimisées.**

Lors des travaux menés par le groupe de travail optimisation dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, il a été identifié que la mise en œuvre de stratégies de tri pourrait conduire à réorienter vers un stockage de type SCR certains déchets contenant essentiellement des radionucléides à période courte. La faisabilité technique de tels scénarios de tri sera examinée et le cas échéant confirmée par l'Andra, sur la base des investigations géologiques, des modélisations d'impact des sites et hypothèses physico-chimiques retenues associées, et de la caractérisation des déchets fournie par les producteurs.

3.2.4.2 Démarche de recherche de site

Le rapport remis par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire souligne le caractère d'utilité publique du stockage des déchets FAVL et rappelle que la sûreté est le facteur premier de choix de site. Il recommande que l'Etat sélectionne un nombre restreint de territoires sur recommandation de l'Andra, en s'appuyant sur les résultats de l'appel à candidatures de 2008. Il propose que le choix de territoires accueillant déjà des installations nucléaires soit privilégié.

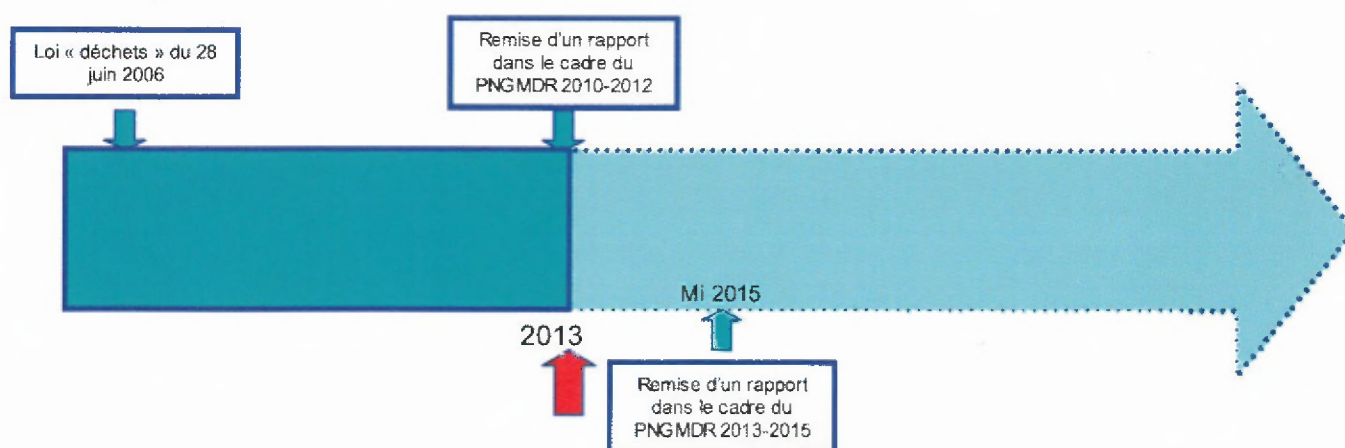
Le Haut Comité recommande de donner du temps pour mener le processus à bien et de prévoir des points de rendez-vous dans le calendrier. Ces recommandations seront prises en compte dans la suite de la démarche.

3.2.4.3 Echéance 2015

Sur la base des investigations géologiques qui pourront être réalisées sur la période 2013-2015, de la poursuite de la caractérisation des déchets et des actions de R&D spécifiques sur le traitement des déchets, l'Andra remettra à l'Etat mi-2015 un rapport comprenant :

- les propositions de choix de scénarios de gestion pour les déchets de graphite et les déchets bitumés avec notamment l'opportunité ou non de relancer la recherche d'un site de stockage sous couverture intacte ;
- un dossier de faisabilité du projet de stockage sous couverture remaniée, le périmètre des déchets à y stocker et le calendrier de sa mise en œuvre.

La mise à disposition de ces éléments techniques et économiques à l'horizon 2015 permettra à l'Etat d'établir des jalons décisionnels dans la poursuite de gestion des déchets de type FAVL.



Principaux jalons relatifs à la gestion des déchets FAVL

3.3 La gestion des déchets HA-MAVL

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. La loi du 28 juin 2006 demande la mise en service d'un centre de stockage réversible en couche géologique profonde en 2025. 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'acquérir sur le site de Bure, des résultats majeurs relatifs à la faisabilité et à la sûreté d'un stockage **La loi prévoit que la demande d'autorisation de création de l'installation puisse être instruite en 2015 et, sous réserve de cette autorisation, le centre mis en exploitation en 2025. Le dépôt de cette demande sera précédé par un débat public prévu en 2013 et une loi devra préciser les conditions de réversibilité de ce stockage.**

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. **Les besoins en entreposage de colis de déchets HA et MAVL devront être analysés par AREVA, le CEA et EDF en lien avec l'Andra 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 (difficultés pour les opérations du cycle, surcoûts, etc.). Par ailleurs, elle ne supprime pas la nécessité d'un stockage géologique. **Les études à venir seront liées aux décisions qui seront prises à la suite de la remise de l'étude par le CEA fin 2012 sur l'évaluation des perspectives des options de séparation-transmutation.**

3.3.1 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 MAVL) 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 pour une instruction de la demande d'autorisation de création en 2015 et sous réserve de cette autorisation, la mise en exploitation en 2025 ;
- l'entreposage, 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. Les deux autres axes de recherche, pilotés par l'Andra, concernent les déchets MAVL et HA déjà produits (environ 60 % des déchets MAVL et 30 % des déchets HA 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 31/12/2010 ainsi que l'installation ITER autorisée par décret n°2012-1248 du 9 novembre 2012.

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, l'entreposage étant utilisé pour apporter toute la flexibilité nécessaire et mettre en œuvre de façon progressive et contrôlée cette solution. La directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 rappelle également que l'entreposage de déchets radioactifs n'est qu'une solution provisoire qui ne saurait constituer une alternative au stockage et que 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.

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. Cette zone est propice à l'implantation de l'installation souterraine du projet de Centre industriel de stockage géologique : le projet Cigéo. L'Andra proposera en 2013 une implantation pour les installations de surface de Cigéo. A la suite de l'évaluation des options de sûreté, de réversibilité et de conception transmises aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement fin 2009, l'Andra a initié en 2012 la phase de conception industrielle de Cigéo avec le lancement des études d'esquisse industrielle.

Les déchets HA et MAVL

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, et vitrifiés. 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 de quatrième génération, qui pourraient être déployés à partir du milieu du siècle (§2.2).

A titre conservatoire, les combustibles usés ont été systématiquement inclus dans les études de faisabilité des concepts de stockage géologique⁸⁸. Des études sur le comportement à long terme de combustibles usés qui seraient stockés sans traitement préalable ont été poursuivies dans le cadre d'un partenariat CEA-EDF-Andra. Ces études permettent de disposer d'un modèle de relâchement des radionucléides. Sur cette base, l'Andra vérifie que les concepts de stockage (en particulier la conception de la descenderie et des puits) restent compatibles avec l'hypothèse du stockage direct des combustibles usés. L'Andra remettra fin 2012 un rapport d'étape sur ce thème, qui propose des axes d'études et recherches pour la période 2013-2015.

Les déchets MAVL sont pour une grande partie issus du cycle du combustible nucléaire des réacteurs de première, deuxième et troisième générations (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 des déchets produits par les activités du CEA relèvent également de cette catégorie.

Le débat public sur le projet Cigéo

Le débat public, prévu en 2013 portera sur le projet de création d'un stockage géologique réversible de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne : le projet Cigéo. Le débat pourra notamment contribuer à échanger sur l'insertion locale du projet Cigéo et à préparer la future loi fixant les conditions de réversibilité du stockage.

L'Andra présentera le projet Cigéo, en s'appuyant en particulier sur l'étude d'esquisse industrielle réalisée en 2012. Les recommandations du débat pourront ensuite être prises en compte par l'Andra dans la préparation de la demande d'autorisation de création du stockage. Le schéma interdépartemental de développement du territoire associé au projet Cigéo est élaboré par l'Etat, en lien avec les collectivités locales. Le projet de schéma sera présenté lors du débat public. Les modalités de transport des colis de déchets depuis les sites d'entreposage jusqu'à Cigéo sont étudiées par AREVA, le CEA et EDF. Les autres parties prenantes (évaluateurs, élus, HCTISN, Clis du Laboratoire de Bure, associations...) sont également associées à la préparation de ce débat.

Conformément au code de l'environnement, le calendrier de déroulement du débat public sera publié par la Commission nationale du débat public (CNDP). L'Andra, maître d'ouvrage du projet Cigéo, proposera au président de la Commission particulière du débat public (CPDP) un dossier en vue du débat. Ce dossier, à destination du public, sera constitué suivant les indications de la CNDP. Il pourra être complété à la demande du président de la CPDP avec des documents nécessaires au débat. Dans un délai de deux mois à compter de la date de clôture du débat public, le président de la CPDP publiera un compte rendu du débat et en dressera le bilan. L'Andra décidera, dans un délai de trois mois après la publication du bilan du débat public, par un acte publié, du principe et des conditions de la poursuite du projet et précisera, le cas échéant, les principales modifications apportées au projet soumis au débat public. L'Andra indiquera

⁸⁸ Les combustibles usés du réacteur EL4 (Brennilis), entreposés à Cadarache, ne présentent pas un potentiel de valorisation suffisant et sont aujourd'hui destinés à un stockage direct en couche géologique profonde.

également les mesures qu'elle juge nécessaire de mettre en place pour répondre aux enseignements qu'elle tire du débat public.

L'Andra a saisi la Commission nationale du débat public (CNDP) le 10 octobre 2012 pour demander la tenue de ce débat⁸⁹.

Le dépôt de la demande d'autorisation de création de Cigéo

Après ce débat public, l'Andra remettra en 2015 la demande d'autorisation de création de Cigéo, accompagnée du dossier prévu à l'article 8 du décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux INB. Le périmètre demandé pour cette autorisation couvrira l'ensemble des déchets de l'inventaire du projet. La loi du 28 juin 2006 décrit le processus d'instruction de la demande. Les conditions de réversibilité du stockage seront déterminées par une nouvelle loi. Le décret d'autorisation ne pourra être délivré qu'après une procédure incluant une instruction du dossier de l'Andra par l'ASN et une évaluation par la CNE, un avis de l'OPECST, une consultation des collectivités locales et une enquête publique.

Pour préparer cette échéance, l'Andra présentera dans le dossier support à la demande d'autorisation de création ses propositions en matière de réversibilité comprenant la gouvernance du stockage et les principes de conception relatifs à l'exploitation du stockage et à la récupérabilité⁹⁰ des colis de déchets. Le dossier de demande d'autorisation de création sera mis à jour après la promulgation de la loi fixant les conditions de réversibilité du stockage.

Les études et recherches relatives au traitement, au conditionnement, à l'entreposage et aux transports des déchets

La loi stipule que « *la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs est recherchée notamment par (...) le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs* ». Les producteurs de déchets HA et MAVL poursuivent, en concertation avec l'Andra, les études sur la connaissance, le traitement et le conditionnement de ces déchets. Les objectifs sont de continuer à réduire le volume des déchets produits, d'obtenir une forme physico-chimique la plus inerte possible vis-à-vis du stockage, en exploitation et à long terme, et de renforcer le confinement des déchets au sein des colis. Les nouveaux 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. Les nouveaux modes de traitement s'appliquent essentiellement à des déchets encore à conditionner.

L'entreposage est indispensable dans l'attente de la mise en service du projet de stockage Cigéo, puis pour accompagner son exploitation industrielle qui se développera par étapes, associées à un processus décisionnel ouvert et progressif. La récupérabilité des colis stockés est une composante essentielle de la réversibilité du stockage, impliquant de s'assurer de la faisabilité de l'entreposage éventuel de colis retirés du stockage.

L'Andra pilote et coordonne les études et recherches relatives à l'entreposage dans la complémentarité du stockage, avant la mise en stockage des colis de déchets, puis en support à leur récupérabilité. Elle mène les études et recherches en concertation avec AREVA, le CEA et

⁸⁹ Cette saisine est consultable sur le site internet de la CNDP : <http://www.debatpublic.fr>, rubrique « activités de la CNDP », « saisines examinées »

⁹⁰ La récupérabilité désigne la capacité à récupérer des déchets seuls ou sous forme de colis après leur mise en place dans un stockage indépendamment de l'exercice effectif de cette capacité.

EDF sur la base de leurs déclarations en vue de l'établissement de l'Inventaire national. La collaboration entre l'Andra et les producteurs continuera à être développée pour capitaliser le retour d'expérience de la conception, de la construction et du fonctionnement des installations et pour renforcer la complémentarité entre les projets d'installations d'entreposage sur sites de production et le futur centre de stockage géologique profond ou le conditionnement.

Le bilan des études et recherches sur l'entreposage qui sera remis par l'Andra fin 2012 proposera en particulier des scénarios de gestion des colis de déchets destinés au projet Cigéo, assortis d'un recensement des capacités d'entreposage nécessaires. Il approfondira l'étude remise fin 2009 proposant des concepts techniques, en tenant compte du principe de complémentarité entre l'entreposage et le stockage. Il s'agit notamment de conforter la durabilité de futures installations d'entreposage sur une durée séculaire et d'accroître leur polyvalence vis-à-vis des colis de déchets qui y seront accueillis.

Outre des capacités supplémentaires d'entreposage, la gestion à long terme des déchets HA et MAVL implique d'étudier de nouveaux moyens industriels pour traiter, conditionner, transporter et contrôler les déchets à vie longue en vue de leur mise en stockage. Ce travail s'effectue en lien entre l'Andra et les producteurs des déchets, qui sont maîtres d'ouvrages et exploitants des moyens de gestion des déchets implantés sur leurs sites.

Les études et recherches relatives à la séparation-transmutation

La séparation transmutation a pour objectif de retirer les actinides mineurs des déchets ultimes, principaux contributeurs à la radio-toxicité à long terme et à la charge thermique résiduelle après période de décroissance des déchets.

Les recherches en matière de séparation et transmutation (premier axe de la loi du 28 juin 2006) sont coordonnées par le CEA, dans un but « *d'évaluation des perspectives industrielles* » des filières correspondantes (réacteurs de 4^{ème} génération, systèmes pilotés par accélérateur) et de préparer la mise en exploitation d'un prototype d'installation à l'horizon 2020.

Le CEA doit remettre fin 2012 un dossier dressant le bilan des recherches menées (en lien avec les autres organismes de recherche, notamment le CNRS). Ce dossier présentera notamment un état des avancées techniques pour la séparation et la transmutation des actinides mineurs, selon les divers modes envisageables (homogène, hétérogène, dans une strate dédiée) et sur la fabrication des combustibles ou cibles correspondants. Il comprendra également les résultats des évaluations techniques et économiques permettant d'évaluer la faisabilité de la transmutation des actinides mineurs⁹¹ ainsi que son impact sur l'ensemble des étapes du cycle du combustible nucléaire, à l'aune des divers critères à considérer. Le CEA s'appuie notamment sur l'Andra pour évaluer l'impact sur le stockage des déchets ultimes de la mise en œuvre de diverses options de gestion des matières. Ce sujet est également traité dans l'annexe 4 : volet recherche.

3.3.2 Le traitement et le conditionnement des déchets

3.3.2.1 Vitrification des déchets HA et MAVL

La vitrification, mise en œuvre avec succès depuis plusieurs décennies avec la technologie « pot de fusion en creuset chaud » dans les usines de Marcoule et de La Hague, est aujourd'hui en France le procédé industriel de référence pour le conditionnement des solutions de produits de

⁹¹ Les recherches menées dans le cadre de la loi de 1991 ont montré que la transmutation des produits de fission à vie longue, n'est pas envisageable sur le plan industriel.

fission issues du traitement des combustibles usés (déchets HA). Cette technologie a démontré sa maturité et sa robustesse avec plus de vingt d'années d'expérience et la production de plus de 16 000 colis vitrifiés.

Par ailleurs, la vitrification mettant en œuvre un procédé innovant de four de fusion par induction en creuset froid, a été mise au point par le CEA. Ce nouveau procédé permet la vitrification d'une gamme plus large de produits de fission, à une cadence de fabrication plus élevée, dans un pot de fusion moins soumis à la corrosion que le pot de fusion en creuset chaud⁹². Ainsi, en 2010, AREVA a mis en œuvre ce procédé pour la production de colis standard de déchets vitrifiés d'effluents de rinçage de moyenne activité, dits CSD-B issus des opérations de cessation définitive d'exploitation et de mise à l'arrêt définitif de l'usine UP2-400. Compte tenu de la nature radiologique des effluents traités, les colis CSD-B relèvent de la catégorie MAVL. Areva a également prévu de produire des colis CSD-U de vitrification de produits de fission riches en Molybdène. Les solutions sont 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), maintenant arrêtés. La mise en œuvre de la technologie du four creuset froid est rendue indispensable compte tenu notamment des fortes teneurs en molybdène des solutions. Enfin, le procédé de vitrification en creuset froid traitera également les solutions de produits de fission issues du traitement des combustibles usés issus des réacteurs eau pressurisée à l'horizon de 2013.

Concernant le comportement à long terme, des études ont été menées pour estimer les performances des colis CSD-B et des colis CSD-U en stockage profond. Pour les verres « actuels », afin d'accroître progressivement la représentativité et la robustesse des modèles de comportement des verres nécessaires à l'Andra pour les études de stockage, des études visant à une connaissance fine des mécanismes physico-chimiques d'altération sont en cours, en tenant compte par ailleurs des possibilités d'évolution dans la composition des combustibles usés. Cette recherche a permis de consolider les modèles de comportement du colis de déchets vitrifiés grâce au développement d'un modèle mécanistique de l'altération du verre. Ces études se poursuivront de manière à affiner les connaissances et notamment les différents couplages avec les matériaux d'environnement du stockage. Les études de formulation des verres sont poursuivies pour tenir compte de l'évolution des compositions des solutions de produits de fission et traiter d'autres types de déchets, ainsi que de la technologie d'élaboration des verres (creuset froid).

3.3.2.2 Autres modes de conditionnement des déchets MAVL

Pour les autres déchets MAVL, trois modes de conditionnement ont été ou sont utilisés : compactage, cimentation et bitumage. Un travail d'acquisition de connaissances a été accompli depuis la loi de 1991, qui a été formalisé notamment dans des dossiers de connaissance des colis transmis à l'Andra. Dans ces dossiers, les producteurs précisent les caractéristiques radiologiques et chimiques des déchets et des colis. Par ailleurs, des études de R&D sont pilotées par les producteurs de déchets en vue de déboucher sur des modèles opérationnels de comportement des colis.

Une des principales questions qui a fait l'objet d'approfondissements spécifiques ces dernières années grâce notamment à des programmes de R&D conjoints du CEA et d'AREVA concerne l'hydrogène résultant de la radiolyse des matériaux organiques, qui est le gaz majoritairement relâché par les colis pendant la période d'exploitation du stockage. Dès 2007, le CEA et AREVA

⁹² 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.

ont initié un programme scientifique visant à disposer des outils de compréhension et de quantification des processus de radiolyse des déchets de polymères contaminés. L'enjeu est en effet de pouvoir évaluer la quantité d'hydrogène de radiolyse pour pouvoir entreposer, transporter et stocker dans des conditions de sécurité et de sûreté maîtrisées.

La démarche scientifique globale de prédiction des rendements de radiolyse a été complétée par des campagnes de mesure, réalisées directement sur des colis et des fûts de déchets. L'ensemble de ces études conduira à la mise en œuvre d'un outil complet de modélisation des productions associées aux colis de déchets. Par ailleurs, EDF mène un programme sur la radiolyse de l'eau du matériau d'immobilisation des déchets qui permettra de quantifier la production d'hydrogène engendrée par l'irradiation d'un colis de déchets cimentés soumis à un terme source d'activité comparable au terme source dans un colis.

Pour les déchets technologiques riches en éléments émetteurs alpha, AREVA a remis, notamment dans le cadre du PNGMDR 2010-2012, une étude décrivant le mode de conditionnement envisagé. Ces déchets ont la particularité d'être mixtes, c'est-à-dire de contenir à la fois des matières combustibles (déchets organiques) et des matières non combustibles (déchets métalliques). Deux procédés de conditionnement sont étudiés, un procédé de compactage à froid et un procédé thermique.

Le dossier du colis issu du procédé de compactage tel que défini en 2008, ne présentant pas de garantie suffisante pour un entreposage de longue durée ou un stockage en couche géologique profonde, l'ASN a demandé⁹³ à AREVA d'étudier d'autres modes de conditionnement de ces déchets.

Depuis AREVA a présenté dans son étude :

- le principe du procédé de conditionnement à froid par compactage enrichi des résultats de R&D acquis depuis 2009 ;
- d'autres procédés de traitement-conditionnement, notamment thermiques. En effet, des traitements conduisant à l'élimination ou à la diminution du contenu en matières organiques des déchets permettraient de limiter l'hydrogène produit par la transformation de ces matières sous l'effet de la radiolyse et de potentiellement limiter l'apparition de substances pouvant présenter un caractère complexant ainsi que les interactions avec les microorganismes.

Les technologies d'incinération / fusion / vitrification mettant en œuvre des plasmas répondent le mieux au cahier des charges.

La R&D menée par AREVA depuis près de deux ans n'a pas encore permis de conclure à la faisabilité industrielle de ces technologies en milieu nucléaire. En effet, au regard des technologies de conditionnement de déchets (MAVL et HA) les plus avancées et opérationnelles industriellement à ce jour, les procédés thermiques impliquent plusieurs innovations technologiques majeures (mise en œuvre d'une torche plasma en milieu nucléaire, mise en œuvre des opérations de fusion et de vitrification au sein d'un même procédé, un conditionnement final comportant deux phases séparées verre/métal dans un même conteneur, utilisation du conteneur de déchet final comme creuset de fusion/incinération).

⁹³ La décision n°2010-DC-0176 du 23 février 2010 de l'ASN 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 »

Par ailleurs, l'article L.542-1-3 du code de l'environnement précise que les propriétaires de déchets MAVL produits avant 2015 doivent les conditionner au plus tard en 2030. Plusieurs points d'étape ont fait l'objet de rapports remis par les producteurs dans le cadre du PNGMDR 2010-2012.

3.3.3 L'entreposage et le transport des déchets

3.3.3.1 Etudes et recherches sur l'entreposage

Les études et recherches pilotées et coordonnées par l'Andra sur l'entreposage des colis de déchets HA et MAVL ont fait l'objet d'un rapport d'étape en 2009⁹⁴. Des concepts techniques innovants avaient alors été proposés par l'Andra pour favoriser la complémentarité avec le projet de stockage géologique sur les plans de :

- la polyvalence vis-à-vis de colis de caractéristiques différentes, placés ou non dans leur conteneur de stockage : il s'agit d'une part, d'offrir plus de flexibilité à la gestion opérationnelle des déchets avant mise en stockage, d'autre part, d'anticiper la gestion de colis de déchets qui seraient récupérés dans le cadre de la réversibilité du stockage, le cas échéant ;
- la durabilité des installations d'entreposage, en visant un objectif séculaire cohérent avec la durée d'exploitation et de réversibilité du stockage et avec les durées de décroissance envisageables avant stockage ;
- la surveillance des installations et des colis entreposés, contribuant à l'objectif de durabilité et permettant de mieux suivre l'évolution des colis en préalable à leur stockage ;
- la modularité, favorisant l'adaptation des capacités d'entreposage à des besoins évolutifs (flexibilité de gestion, réversibilité).

L'Andra a été chargée pour la période 2010-2012 d'approfondir ces solutions qui peuvent bénéficier à tous les futurs projets d'installations d'entreposage, et d'examiner des installations d'entreposage qui pourraient être associées au projet de centre de stockage géologique profond. Un bilan d'ensemble des études et recherches sera remis fin 2012.

Partant de plusieurs concepts novateurs d'entreposage répondant au principe de complémentarité avec le stockage, les études et recherches menées depuis 2010 visent notamment à augmenter la puissance thermique admissible des colis de déchets de haute activité⁹⁵, à optimiser les processus de manutention et à améliorer l'articulation avec le transport. Des moyens de surveillance intégrés aux installations sont étudiés pour contrôler leur vieillissement et celui des colis entreposés, mesurer la puissance thermique de ces derniers ainsi que les dégagements gazeux. Parallèlement, les recherches sur le comportement des matériaux en entreposage sont poursuivies pour une durabilité séculaire. Il est à noter que les recherches sur la surveillance et le vieillissement sont effectuées en synergie avec celles relatives à la réversibilité du stockage, un grand nombre de processus impliqués étant comparables.

Les études de concepts d'entreposage en galeries ou en silos creusés en souterrain ont montré une plus grande complexité que des installations construites en surface ou en tranchée, en particulier pour ce qui concerne la manutention, la modularité ainsi que le refroidissement des colis de déchets de haute activité. Par conséquent, ces types de concepts ne sont plus envisagés.

⁹⁴ Dossier jalon 2009 Andra C.RP.ADP.08.0038 : inventaire des capacités d'entreposage existantes, état d'avancement des études de concepts d'entreposage, propositions d'options à étudier après 2009.

⁹⁵ Dans les concepts d'entrepôts de déchets de haute activité présentés en 2009, la recherche de polyvalence entraîne une diminution de performance d'évacuation de la chaleur.

A l'issue d'un dialogue mené depuis 2010 entre l'Andra et les parties prenantes du projet Cigéo, il a été retenu que ce dernier ne comportera pas d'installation d'entreposage susceptible de se substituer à celles des producteurs de déchets. L'option d'un entreposage de décroissance intégré au centre de stockage⁹⁶, dont l'étude avait été proposée en 2009, n'est plus considérée. L'Andra définira d'ici à début 2015 les capacités limitées d'entreposage tampon à prévoir dans le cadre du projet Cigéo, en recherchant une optimisation de l'exploitation du centre et en tenant compte de la chaîne logistique depuis le désentreposage sur les sites des producteurs.

Les études et recherches sur l'entreposage coordonnées par l'Andra peuvent s'adresser aux nouvelles installations qui seraient implantées sur les sites des producteurs, ces derniers en assurant la maîtrise d'ouvrage puis l'exploitation nucléaire. Cependant les résultats seront aussi utiles à la conception des capacités d'entreposage tampon du projet Cigéo, caractérisées notamment par un besoin renforcé de polyvalence.

Les études et recherches pourront permettre à l'Andra d'apporter un appui technique aux exploitants d'entreposage pour favoriser la complémentarité de leurs projets de création ou d'extension avec le stockage. Ainsi, ressortant d'un travail commun avec l'Andra, AREVA a doté l'extension de l'entreposage des déchets HA vitrifiés à La Hague, en cours de construction, de dispositions constructives nouvelles⁹⁷. Ce type d'échanges pourra être reconduit notamment pour les nouveaux projets d'entreposage du site de La Hague et dans le cadre du projet ICEDA d'EDF.

3.3.3.2 Adéquation entre les capacités d'entreposage et l'inventaire prévisionnel des déchets

Les études et recherches sur l'entreposage sont menées dans l'optique de favoriser la complémentarité entre, d'une part, le « système » constitué par les installations d'entreposage actuelles et futures, sur les différents sites, d'autre part, le stockage, en considérant les installations de contrôle des colis primaires, de conditionnement en conteneur de stockage et les transports. Dans son avis du n°2011-AV-129 du 26 juillet 2011⁹⁸, l'ASN avait recommandé que les études soient poursuivies entre l'Andra et les producteurs de déchets concernés de façon à disposer en temps voulu des capacités nécessaires à l'entreposage des déchets de moyenne et haute activité à vie longue avant leur stockage.

Une démarche d'ensemble coordonnée associant l'Andra et les producteurs de déchets permettra progressivement une optimisation des investissements et de l'exploitation des différentes installations de gestion des déchets. Cette démarche doit couvrir les installations d'entreposage et de désentreposage ainsi que celles de mise en conteneur de stockage, de contrôles, de chargement/déchargement d'emballages de transport (voir infra), de mise en stockage. Elle devra prendre en compte la réversibilité du stockage, si nécessaire, lorsque les conditions de celles-ci seront définies.

Une première étape a été finalisée en janvier 2012 avec l'établissement en commun, par l'Andra, AREVA, le CEA et EDF, de la première version du programme industriel de gestion des déchets

⁹⁶ Cette option renvoyait à une prise de décision à l'horizon 2040.

⁹⁷ La formulation du béton de structure a été choisie pour une moindre chaleur spécifique d'hydratation et une plus grande résistance à la carbonatation. Les soufflets de dilatation des puits d'entreposage, sensibles à la corrosion, ont été placés en partie haute à l'abri de toute condensation. Un puits d'auscultation a été réservé pour l'étude du vieillissement dans l'air de ventilation et sous irradiation intense, de colis témoins portant des échantillons de matériaux de colisage et de structure.

⁹⁸ L'avis n°2011-AV-129 du 26 juillet 2011 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 »

(PIGD). Ce programme vise à planifier et mettre en cohérence les moyens industriels à mettre en œuvre dans le cadre du développement du projet Cigéo. Il décrit l'inventaire des déchets à retenir pour ce projet et définit l'ordonnancement et les flux prévisionnels de livraison des colis (voir infra, § 3.3.4). L'objectif du programme est aussi de faire état des équipements industriels existants ou à mettre en œuvre par les producteurs de déchets, sur les sites de production et en matière de transports, et d'identifier ceux à mettre en œuvre par l'Andra sur le site du projet Cigéo, en montrant l'articulation d'ensemble dans le contexte de la mise en exploitation de ce projet.

D'ici à 2025, les besoins en entreposage de colis de déchets HA et MAVL sont liés à la production de nouveaux déchets et à la reprise et au conditionnement de déchets anciens, qui augmentent progressivement le volume de colis à entreposer ainsi qu'à la cessation d'exploitation d'installations anciennes, qui diminue les capacités d'entreposage disponibles.

Après 2025, les besoins vont aussi dépendre de l'ordonnancement et des flux de mise en stockage. La mise en stockage réduit progressivement l'inventaire des colis entreposés. Elle libère des emplacements d'entreposage dans les entrepôts existants ou accompagne la cessation d'exploitation d'entrepôts sans qu'il ne soit plus nécessaire de les renouveler.

Les travaux confiés en 2009 à l'Andra, à AREVA, au CEA et à EDF sur les scénarios entreposage-transport-stockage des colis de déchets et sur les besoins en entreposage résultants sont en cours. Ils se fondent sur la première version du PIGD.

A ce stade, les capacités d'entreposage existantes et les créations et extensions d'installations projetées par AREVA, le CEA et EDF apparaissent suffisantes pour gérer les colis de déchets HA et MAVL jusqu'à l'horizon 2025-2030. Tous les colis de déchets seront entreposés sur les sites de production ou de conditionnement jusqu'à leur mise en stockage.

Site de La Hague

Les installations d'entreposage existantes sur le site de La Hague sont les suivantes :

- R7, T7, E-EV-SE, pour les déchets vitrifiés HA et MAVL (respectivement CSD-V et CSD-B), représentant une capacité cumulée de 12 420 colis ;
- ECC, pour les déchets de structure et technologiques compactés (CSD-C). La capacité actuelle est de 20 800 colis, sachant qu'une réserve foncière permettrait si nécessaire de construire jusqu'à six modules équivalents au module existant ;
- EDS pour les colis de déchets cimentés en conteneurs amiante ciment (CAC) et conteneurs béton-fibres (CBF-C2), avec une capacité totale de 12 046 colis, suffisante jusqu'à l'horizon 2040 pour accueillir les futures productions ;
- les bâtiments S et ES pour les colis de bitume, boues STE2 et les déchets contaminés en émetteurs alpha (conditionnements à l'étude). Leur capacité totale de 47 000 colis (estimée pour des fûts d'enrobés bitumineux) sera en principe suffisante pour entreposer d'ici 2030 l'ensemble des productions prévues.

Des extensions sont prévues pour les CSD-V et les CSD-C :

- la première extension de E-EV-SE (dénommée E-EV-LH), entrée en phase de construction et prévue selon AREVA d'être mise en service en 2013, portera la capacité d'entreposage de CSD-V, CSD-U et CSD-B à 20 830 colis environ. Une capacité supplémentaire sera nécessaire à partir de 2017 (E-EV-LH2). L'Andra, AREVA et EDF élaborent des scénarios entreposage-transport-stockage des CSD-V qui pourront être

présentés au débat public sur le projet Cigéo. Les conclusions seront rendues d'ici fin 2012.

- une extension de ECC pourrait être nécessaire au cours de la période 2020-2025. AREVA avec l'aide de l'Andra et EDF analyse les scénarios de désentreposage et de transport des CSD-C ainsi que les possibilités d'optimisation de cette extension, en particulier sa taille, en tenant compte d'une mise en stockage de premiers CSD-C dès 2025. Les modalités de désentreposage sont évaluées dans une optique d'optimisation du système global. Les conclusions seront remises d'ici fin 2012.

Site de Marcoule

Les installations existantes sur le site de Marcoule sont :

- l'entreposage de déchets vitrifiés (SVM) de l'atelier de vitrification de Marcoule (AVM). Selon le CEA, sa capacité de 665 m³ est en théorie suffisante pour accueillir l'ensemble des productions prévues à Marcoule. Le dernier réexamen de sûreté de cette installation (2009) a montré que des travaux de renforcement et de rénovation devraient être menés pour pouvoir continuer la poursuite d'exploitation de cette installation au-delà de 2014 ;
- le bâtiment 213 de l'Atelier Pilote de Marcoule (APM) où sont entreposés les verres PIVER depuis 1969. Cette installation n'étant pas pérenne, le CEA transmettra une stratégie d'entreposage de l'ensemble des verres de Marcoule ;
- des casemates d'entreposages des fûts de bitumes anciens (rattachés aux catégories MAVL et FAVL). Ces casemates anciennes doivent être désentreposées, et les opérations sont engagées ;
- l'entreposage intermédiaire polyvalent (EIP), mis en exploitation en 2000 pour recevoir les déchets ou colis anciens placés en surfûts de 380 litres, en priorité ceux qui ont été retirés des fosses de la zone nord puis ceux en cours de retrait des casemates 1 et 2. De conception modulaire, l'EIP comporte actuellement deux alvéoles et pourra si nécessaire être étendu. La saturation de la capacité actuelle de l'EIP est envisagée à ce jour à l'horizon 2016, avec un volume de 4 370 m³, soit 11 500 colis (MAVL et FAVL), compte tenu des cadences annoncées de reprise des casemates.

Conformément aux orientations précisées par le PNGMDR en 2009, le CEA et l'Andra étudient de manière concertée l'option d'une mise en conteneur de stockage des colis de boues bitumées MAVL et potentiellement d'autres colis de déchets solides sur le site de Marcoule (voir § 3.3.3.3), ouvrant la possibilité d'une optimisation d'ensemble du système en limitant les capacités d'entreposage nouvelles à créer et les volumes de colis à stocker. Le CEA envisage depuis plusieurs années la mise en conteneur de stockage à l'horizon 2017 des colis de boues bitumées, dans l'hypothèse d'une évacuation à partir de 2025 des colis de stockage de fûts de bitume vers le projet de stockage Cigéo. Le scénario étudié comprend la création d'une installation d'attente d'évacuation (IAE) pour entreposer les colis de stockage qui seront constitués à l'horizon de 2017, pour une capacité d'entreposage en lien avec une expédition vers le projet de stockage Cigéo dès 2025. La date de mise en stockage d'un premier colis d'enrobés bitumineux nécessite d'être confirmée sur la base d'éléments suivants :

- d'un programme de R&D du CEA visant à compléter et renforcer les éléments de connaissance déjà acquis sur le comportement intrinsèque des enrobés ;
- des éléments de spécifications techniques, chiffrés, sur les colis de stockage en béton et l'impact de l'évolution à long terme des colis en alvéoles de stockage, qui sont à apporter par l'Andra. Le CEA poursuivra les opérations de caractérisation des déchets et des colis

primaires anciens (bitumes), ainsi que la définition des colis primaires à réaliser dans le cadre de la reprise et du conditionnement des colis (RCD), le scénario de fabrication des colis de stockage à Marcoule (spécifications fonctionnelles chiffrées à établir par l'Andra, spécifications de fabrication à établir ensuite par le CEA), les besoins en entreposage et les modalités de désentreposage. Par ailleurs, et en lien avec l'Andra, le CEA identifiera les installations de contrôle des colis sur le site de Marcoule ;

- les producteurs partageront avec l'Andra les programmes de R&D sur le comportement intrinsèque des colis de déchets, ainsi que les analyses des performances obtenues au regard de celles attendues en vue de l'acceptabilité.

Par ailleurs, le CEA souhaite créer l'installation DIADEM pour entreposer notamment les colis de déchets MAVL hautement irradiants. Le dossier de demande d'autorisation de création déposé le 27 avril 2012 auprès des Ministres est en cours d'instruction. Le CEA envisage une mise en service de l'installation en 2017, sous réserve de son autorisation. En plus de déchets produits par l'assainissement et le démantèlement d'installations du site de Marcoule (APM, Phénix...), cette nouvelle installation permettrait d'entreposer des déchets irradiants en provenance d'autres sites du CEA (Fontenay, Saclay, Grenoble).

Site de Cadarache

Les installations existantes pour la gestion des déchets du site de Cadarache sont :

- l'installation de conditionnement et d'entreposage de déchets radioactifs (CEDRA), mises en service en 2006. Les bâtiments actuels n°374 et 375 sont conçus pour l'accueil des déchets faiblement irradiants (FI) et ont une capacité de 4 450 m³. Le bâtiment 376 est dédié aux déchets moyennement irradiants (MI) avec une capacité de 2 350 m³.
- l'INB 56. Les colis FI et MI entreposés dans cette INB en sont progressivement repris, caractérisés et transférés sur CEDRA. Des colis de sulfates de plomb radifères, des déchets solides et boues de filtration en conteneurs de grandes dimensions (1 000 ou 1 800 litres) et des « blocs sources » sont également entreposés dans l'INB 56, représentant un volume de 1 275 m³ environ.
- l'installation d'entreposage à sec « Cascad » (casemate d'entreposage à sec de Cadarache, INB n° 22), qui accueille les combustibles usés EL4 de Brennilis destinés au projet de stockage Cigéo.

L'extension des capacités d'entreposage de CEDRA est envisagée par le CEA pour une mise en service à l'horizon de 2023 (déchets MI) et 2025 (déchets FI).

Les besoins en entreposage des déchets MAVL contenant du tritium produits par l'installation ITER sont traités au § 3.1.2.

Site du Bugey

Sur le site du Bugey, l'installation ICEDA autorisée par décret n°2010-402 du 23 avril 2010 est destinée à entreposer les déchets activés issus de l'exploitation des réacteurs en fonctionnement et ceux de déconstruction des réacteurs de première génération d'EDF (déchets MAVL conditionnés par cimentation en conteneur béton C1PG). Sa mise en service envisagée en 2015 est remise en cause par l'annulation du permis de construire prononcée le 6 janvier 2012 par le tribunal administratif.

Site de Valduc

Les boues de coprécipitation/filtration et concentrats, cimentés jusqu'en 1995, sont entreposés dans un premier temps sur le site de Valduc où ils ont été produits, puis envoyés en entreposage à CEDRA (Cadarache) en attente de la mise en service du projet de stockage Cigéo. Les fûts de 100 L de déchets technologiques A riches sont également envoyés à CEDRA pour entreposage. A partir de 2032, ces déchets seront conditionnés à Valduc. Par ailleurs le CEA projette de vitrifier des effluents contenant de l'américium, du plutonium et de l'uranium à partir de 2020. Ces colis de verres MAVL issus d'effluents très actifs seront aussi entreposés sur le site en attente de la mise en service du projet de stockage Cigéo.

3.3.3.3 Adéquation des moyens de transport avec l'exploitation du stockage

L'adéquation des moyens de transport avec l'exploitation du stockage a fait l'objet d'une première analyse par l'Andra, AREVA, le CEA et EDF retranscrite dans le PIGD.

Le développement des emballages de transport, des moyens de transport et l'acheminement des déchets conditionnés depuis les sites de production ou d'entreposage jusqu'au centre de stockage relèvent de la responsabilité d'AREVA, du CEA et d'EDF. Les infrastructures à réaliser en Meuse/Haute-Marne seront définies en lien avec le schéma interdépartemental de développement du territoire (SIDT) Meuse/Haute-Marne établi sous l'égide de l'Etat. L'organisation des transports sera présentée lors du débat public sur le projet Cigéo.

Les déchets expédiés depuis les sites de La Hague, Cadarache, Valduc et Bugey seront livrés sous forme de colis primaires, ceux provenant de Marcoule le seront, en scénario de référence du CEA, sous forme de colis de stockage. En alternative, le CEA considère aussi la possibilité d'expédier les déchets de Marcoule sous forme de colis primaires, à l'exception des enrobés bitumineux.

Pour assurer le transport de ces colis, les producteurs devront disposer d'une flotte d'emballages de transport adaptée. La diversité des colis, les flux et l'ordonnancement des livraisons vers le projet de stockage Cigéo nécessiteront une flotte importante. L'utilisation d'emballages de transport existants devrait être privilégiée à chaque fois que possible, permettant de s'appuyer sur les agréments existants qui devront néanmoins être renouvelés.

Pour certains colis, des emballages sont d'ores et déjà en cours d'exploitation, d'agrément ou de conception, ou peuvent faire l'objet d'extrapolations réalistes.

Une optimisation des emballages de transport contenant des colis primaires de masse et gabarits importants (cas des fûts de coques et embouts cimentés ou CBF-C'2) pourra être recherchée par AREVA.

Le TN 28 est considéré comme référence par le CEA pour assurer le transport des colis de déchets vitrifiés de l'AVM, de l'APM et d'Atalante, moyennant quelques modifications de l'aménagement interne et l'extension de l'agrément actuel. Ces éléments devront être étudiés pour permettre une utilisation du TN 28 depuis Marcoule dès 2025.

Pour le transport des colis de stockage MAVL réalisés sur le site de Marcoule, le CEA retient comme référence l'hypothèse d'un transport en emballage de type IP2. Cette hypothèse devra être confortée par une étude de faisabilité en distinguant les différentes familles de colis (enrobés bitumineux, déchets solides, magnésiens et pulvérulents). Les emballages correspondants devront être développés en cohérence avec l'ordonnancement des livraisons vers le projet de stockage Cigéo définies par le PIGD.

Pour les autres colis n'ayant pas encore fait l'objet d'études de transport, des emballages adaptés devront être progressivement développés par les producteurs pour être agréés et opérationnels dans les délais compatibles avec l'ordonnancement de livraison des colis.

Les principaux sites de production et d'entreposage des déchets (La Hague et Marcoule notamment) disposent à proximité d'infrastructures permettant un transport routier et ferroviaire. Le site EDF du Bugey est embranché sur le réseau ferroviaire.

Dans ce contexte, AREVA considère que les expéditions à partir du site de La Hague seront réalisées par camions jusqu'à la gare de transit de Valognes, puis par convois ferroviaires jusqu'au stockage Cigéo en projet.

Concernant les expéditions à partir du site de Marcoule, le scénario actuellement envisagé par le CEA est comparable à celui de La Hague via le terminal ferroviaire d'Orsan (scénario supposant un redimensionnement des installations de ce terminal).

Concernant les colis de déchets expédiés depuis Cadarache, le CEA considère actuellement deux hypothèses : l'acheminement ferroviaire via le terminal le plus proche et l'acheminement par route.

EDF considère comme référence que les expéditions depuis ICEDA, implantée sur le site de Bugey, seront préférentiellement effectuées par voie ferrée. De façon générale, le transport ferroviaire est une option à privilégier pour le transport de certains types d'emballages en raison de leurs masses élevées (plus de 100 tonnes pour les CSD-C et les CSD-V par exemple). C'est aussi la solution privilégiée sur de longues distances car il permet de transporter plus d'emballages en une seule fois et de bénéficier de ce fait d'un bilan carbone plus favorable. Dans le cas de transports routiers, certains transports seraient classés en transport exceptionnel compte tenu de la masse de leurs emballages de transport, avec les hypothèses actuelles.

L'insuffisance des infrastructures associées au transport fluvial a conduit à écarter cette dernière solution.

Dans le cadre du projet Cigéo, la possibilité d'installer un terminal ferroviaire embranché dans le périmètre de l'installation de stockage est étudiée. Cette option apparaît *a priori* 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. Cela impliquerait, si la faisabilité technique est démontrée, d'aménager une voie nouvelle jusqu'au projet de stockage. Plusieurs scénarios de desserte sont étudiés dans le cadre du schéma interdépartemental de développement du territoire Meuse/Haute-Marne. Les installations intégrées au centre de stockage seront décrites dans le dossier support à la demande d'autorisation de création de Cigéo.

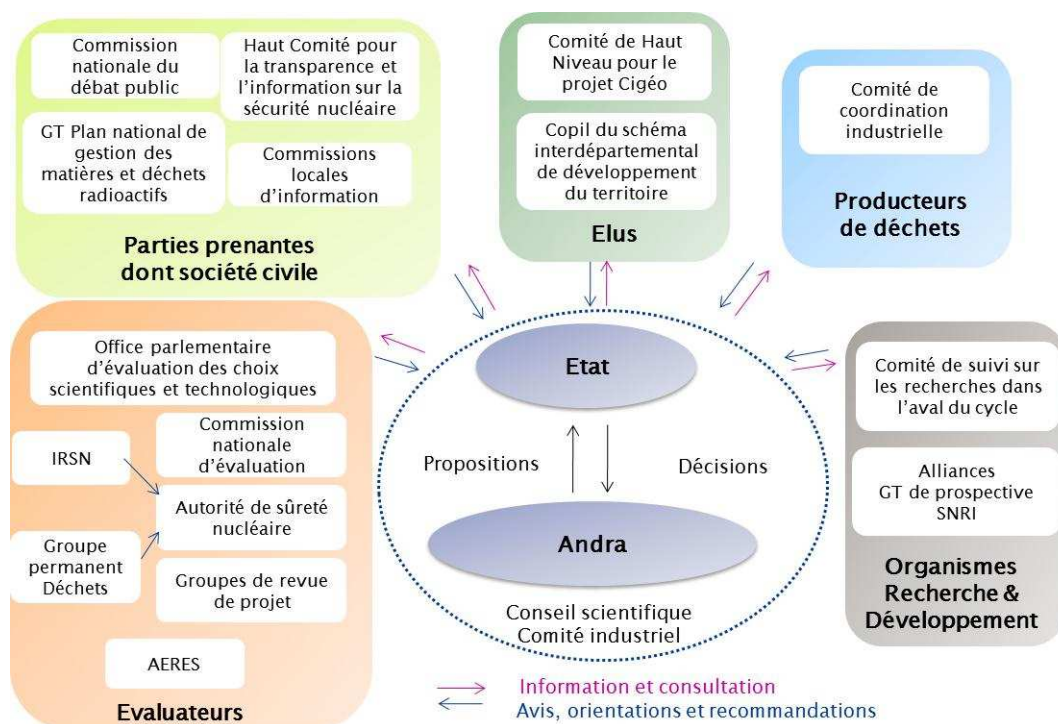
3.3.4 Le stockage réversible en couche géologique profonde

Les études et recherches concernant le stockage réversible en couche géologique profonde sont conduites en vue de choisir un site et de concevoir le centre de stockage, de sorte que la demande d'autorisation de création puisse être instruite en 2015. Sous réserve d'autorisation, la mise en exploitation du centre est prévue en 2025. Le processus spécifique d'instruction de la demande d'autorisation de création est défini par la loi du 28 juin 2006. Le dépôt de la demande d'autorisation de création du centre sera précédé d'un débat public prévu en 2013.

Le centre industriel de stockage géologique « Cigéo », sous réserve de son autorisation, sera une installation construite et exploitée en souterrain sur plus de cent ans. Cette longue durée conduit à développer les ouvrages de stockage par tranches qui seront mises successivement en

exploitation, avec une logique de flexibilité. Sous réserve d'autorisation, la première tranche de construction vise à permettre le stockage de premiers colis de déchets à l'horizon 2025.

Le projet Cigéo doit répondre à des enjeux de sûreté, industriels, économiques et sociétaux. La gouvernance externe du projet permet d'impliquer les différents acteurs et parties prenantes liés à ces enjeux, sous le contrôle de l'Etat et des évaluateurs.



La gouvernance du projet Cigéo (Copyright Andra)

La démarche d'implantation de Cigéo

La demande d'autorisation de création de Cigéo concernera la couche géologique des argiles du « Callovo-Oxfordien » étudiée au moyen du Laboratoire de recherche souterrain exploité par l'Andra dont l'autorisation a été renouvelée par décret du 20 décembre 2011 jusqu'en 2030. Le Laboratoire souterrain permet notamment à l'Andra de tester la réalisation d'ouvrages dans le milieu souterrain, suivre leur comportement sur la durée, étudier les perturbations engendrées sur la roche, mettre au point des méthodes d'observation-surveillance. Les données acquises contribuent ainsi à préparer les évaluations de sûreté du stockage ainsi que la phase industrielle.

L'Andra a proposé en 2009 une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) sur la base de critères géologiques liés à l'aménagement du territoire et à l'insertion locale issus des échanges avec les acteurs locaux. Cette zone géographique de 30 km² a été validée par l'Etat en 2010, après consultation des parties prenantes et avis de l'ASN, pour poursuivre l'étude de l'implantation des installations souterraines du stockage. L'Andra a mené en 2010 une reconnaissance géologique approfondie de la ZIRA avec des moyens de sismique 3D. Selon l'Andra, cette reconnaissance permet de confirmer l'absence de structure tectonique dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien et de détailler la modélisation géologique de la couche et de ses encaissants. Sur cette base, l'Andra dispose d'une vision tridimensionnelle de la distribution des propriétés du milieu géologique, pour la définition précise de l'implantation des ouvrages de l'installation souterraine de Cigéo. Dans son rapport d'évaluation de novembre 2011,

la Commission nationale d'évaluation (CNE), a souligné que la nouvelle campagne sismique confirme l'excellente homogénéité de la ZIRA et qu'à l'issue des premières interprétations des données sismiques, le modèle géologique 3D apparaît suffisamment robuste pour que l'on puisse exclure la présence de discontinuités structurales traversant la couche du Callovo-Oxfordien et capable d'assurer une liaison hydraulique avec les aquifères encaissants. La CNE considère également que l'Andra dispose à présent d'un modèle géologique conceptuel justifiant la transposition à la ZIRA des données élaborées à partir des informations acquises dans le Laboratoire souterrain.

Concernant les installations de surface, l'Andra étudie une implantation de l'entrée de la descendrière dans la zone interdépartementale, côté Haute-Marne, contiguë à la Meuse. Plusieurs scénarios d'implantation des puits à l'aplomb de la ZIRA sont étudiés. L'Andra établira la demande d'autorisation de création de Cigéo sur la base de l'implantation qui sera retenue en 2013.

Le projet de schéma interdépartemental de développement du territoire est élaboré sous l'égide du préfet de la Meuse, préfet coordinateur, en concertation avec les acteurs locaux. Il sera présenté lors du débat public sur le projet Cigéo. L'objectif de ce schéma est d'apporter des réponses aux enjeux d'aménagement et de développement liés à l'implantation de Cigéo.

Les études de conception industrielle de Cigéo

L'Andra a présenté en 2009 des options de sûreté, de réversibilité et de conception. L'ensemble a fait l'objet d'une instruction par l'ASN et son appui technique l'IRSN en 2010, permettant notamment d'identifier les principaux éléments à compléter en vue de la demande d'autorisation de création.

A l'issue de cette instruction, l'ASN a rendu un avis le n°2011-AV-129 du 26 juillet 2011, qui tout en constatant que l'Andra avait développé les principales dispositions de conception, de sûreté et de réversibilité permettant de maîtriser les risques pendant l'exploitation du stockage, soulignait la nécessité pour l'Andra d'apporter des précisions et approfondissements dans le cadre de la demande d'autorisation de création du stockage, et recommandait que l'Andra reste attentive à bien coordonner les travaux de recherche et d'expérimentations avec les différentes phases de développement du projet afin d'assurer la disponibilité des données nécessaires à la démonstration de la sûreté de l'installation le moment venu.

Par ailleurs, la réalisation d'activités nucléaires en souterrain et leur extension spatiale au fur et à mesure de la mise en stockage de nouveaux colis de déchets impliquent de définir les référentiels les mieux adaptés en matière de sûreté nucléaire et de sécurité.

Sur ces bases, l'Andra a lancé la phase d'études pour la conception industrielle de Cigéo. L'objectif est de préparer pour 2015 la demande d'autorisation de création de Cigéo et, sous réserve d'autorisation, la construction d'une première tranche.

Le périmètre demandé pour l'autorisation de création couvrira l'ensemble des déchets de l'inventaire du projet industriel Cigéo ainsi que les réserves présentées ci-après.

Dans ce cadre, le Ministre en charge de l'énergie a veillé à la mise en place, début 2011, d'une organisation industrielle dédiée. Celle-ci inclut, en particulier, un processus de revue externe du projet. Dans ce cadre, une première revue de projet a été commandée en 2011 par le Ministre en charge de l'énergie. Elle s'est tenue au premier semestre 2011. Son objet consistait en la revue technique et organisationnelle du projet, au préalable au lancement de la phase d'esquisses.

L'Andra a lancé, mi-2011, un premier appel d'offres correspondant à la maîtrise d'œuvre système pour la phase d'esquisse. La sélection de l'entreprise retenue et la commande correspondante de la maîtrise d'œuvre pour la phase d'esquisse, ont eu lieu début 2012. La fin de la phase d'esquisse est prévue pour fin 2012.

D'ici le débat public, le Groupe Permanent Déchets examinera les documents remis depuis 2010 par l'Andra, portant sur le programme industriel de gestion des déchets et ses évolutions, sur les résultats de la sismique 3D réalisée en 2010 et leur prise en compte dans le modèle conceptuel du site, ainsi que sur le comportement à long terme des combustibles usés en condition de stockage (étude remise dans le cadre du PNGMDR 2010-2012), et l'analyse que l'RSN en aura faite. L'ASN rendra un avis suite à cet examen.

L'inventaire du projet Cigéo et l'ordonnancement des livraisons de colis de déchets

L'inventaire prévisionnel à retenir pour le projet industriel Cigéo a été mis à jour par l'Andra, AREVA, le CEA et EDF en 2011. De premières hypothèses pour l'ordonnancement et les flux prévisionnels de livraison des colis ont également été définies. Ces éléments constituent des données d'entrée pour la conception industrielle de Cigéo.

L'inventaire a été établi à partir du « scénario industriel » défini par AREVA, le CEA et EDF en 2011. Ce scénario prend pour hypothèse la poursuite de la production électronucléaire avec traitement de tous les combustibles déchargés des réacteurs de deuxième et troisième générations et des combustibles des réacteurs Phénix et Superphénix. La durée de fonctionnement prise conventionnellement en référence pour tous les réacteurs à eau pressurisée, y compris le réacteur EPR de Flamanville, est de cinquante ans. Cette hypothèse ne préjuge pas des résultats du réexamen décennal de sûreté des réacteurs ni des modalités liées, le cas échéant, à l'allongement de la durée de fonctionnement de ces réacteurs au-delà de 50 ans. Ce scénario retient que les matières (uranium et plutonium) non valorisées dans les 58 réacteurs REP actuels et l'EPR de Flamanville pourront l'être dans des installations futures. Les déchets produits par un éventuel futur parc de réacteurs ne sont pas pris en compte.

L'inventaire du projet industriel est assorti de marges pour prendre en compte les incertitudes. Pour certains déchets non encore conditionnés, des hypothèses de conditionnement ont été formulées.

Pour la demande d'autorisation de création, des réserves sont ajoutées à l'inventaire du projet industriel. Elles visent à prendre en compte des incertitudes sur les stratégies industrielles ou sur la mise en place de nouvelles filières de gestion pour les déchets de type FAVL. Les réserves prises en compte couvrent ainsi la création éventuelle d'un deuxième réacteur de troisième génération, envisagée dans le cadre de la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (période 2009 - 2020). Elles couvrent également par précaution certains déchets issus du tri ou du traitement des déchets de graphite ainsi que certains déchets bitumés pour lesquels différents scénarios de gestion sont étudiés, sans préjudice du scénario de gestion qui sera retenu. Cette démarche est conforme aux dispositions de l'article L.542-1-2 du code de l'environnement qui dispose 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* ».

Sur le plan technique, le projet industriel Cigéo ne devra pas comporter d'élément rédhibitoire vis-à-vis d'une évolution éventuelle de l'inventaire, notamment l'accueil de combustibles usés

autres que ceux du réacteur EL4 de Brennilis. Toute évolution rapport au périmètre de déchets visé dans l'autorisation de création devra faire l'objet d'une nouvelle autorisation.

La conception de la première tranche d'exploitation de Cigéo, puis des tranches suivantes, nécessite de planifier la livraison des différents colis de déchets. Les caractéristiques des premiers colis livrés déterminent en effet les fonctionnalités des ateliers nucléaires de surface à mettre en exploitation sur le site de stockage en 2025 et des premiers alvéoles de stockage. L'ordonnancement prévisionnel de livraison des colis de déchets à Cigéo vise à prendre en compte au mieux les besoins d'expédition des producteurs tout en s'assurant de la compatibilité en termes de flux et de besoins logistiques depuis l'entreposage jusqu'au stockage. Il autorise une montée en puissance progressive de Cigéo sur la période 2025-2030. De plus, le stockage d'enrobés bitumineux de Marcoule et de La Hague sur la période 2025-2029 est un scénario qui est étudié en option (§ 3.3.3). La mise en stockage des déchets vitrifiés fortement exothermiques de La Hague est envisagée à partir de 2075, permettant de bénéficier d'une décroissance thermique notable ; le stockage de déchets non ou faiblement exothermiques peut néanmoins se poursuivre au-delà de cette échéance.

Comme indiqué au § 3.3.3, l'ordonnancement de livraison des colis présente un caractère évolutif. Il sera ajusté par l'Andra et les producteurs dans le cadre d'une démarche d'optimisation itérative avec la conception de Cigéo.

Le contrôle des colis

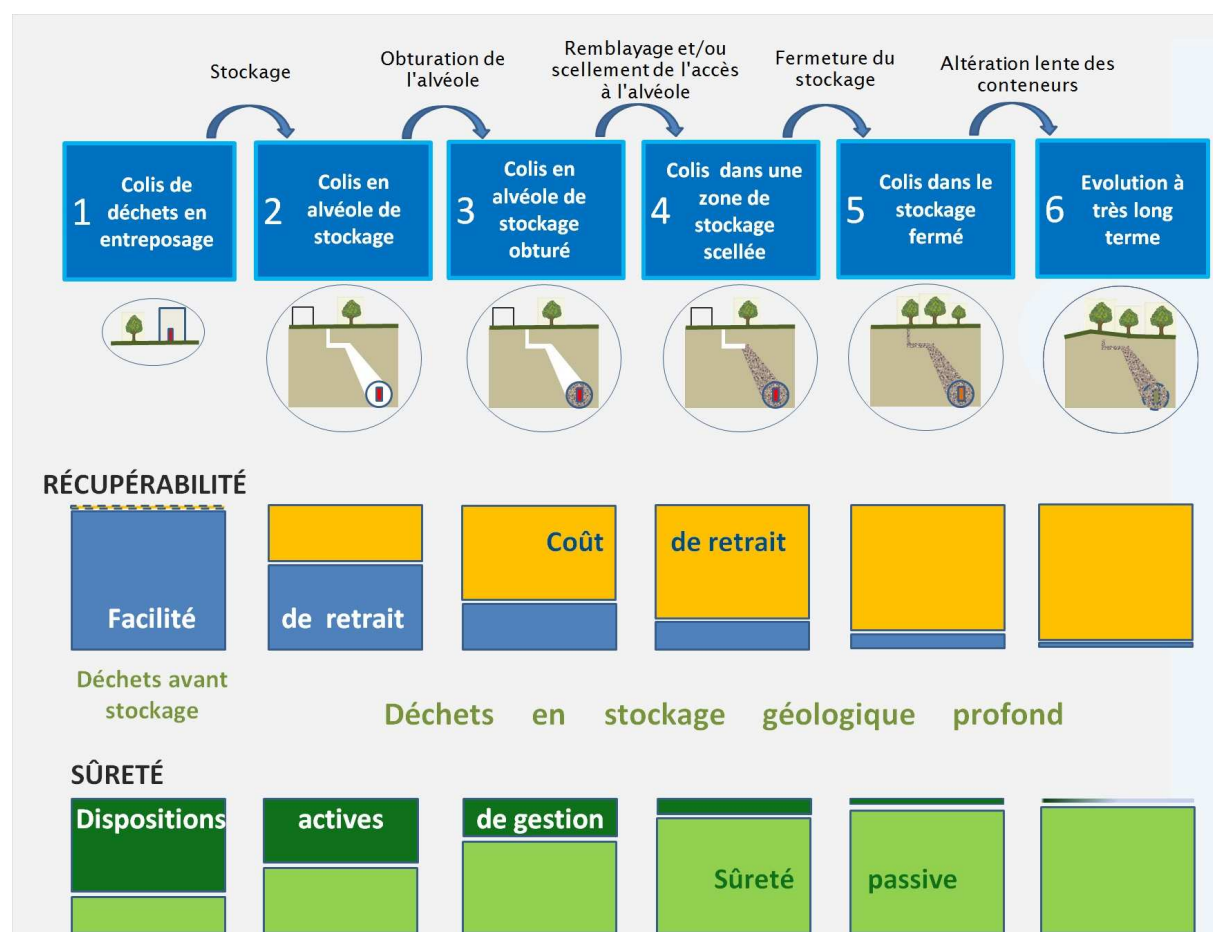
Un ensemble de contrôles sont et seront mis en œuvre sur les colis préalablement à leur stockage : (i) contrôles effectués sous la responsabilité des producteurs dans le cadre de leurs processus de production et de constitution des dossiers fournis à l'Andra, (ii) contrôles effectués en ligne sous la responsabilité de l'Andra pour vérifier la conformité des colis aux déclarations des producteurs et au référentiel de sûreté de Cigéo, (iii) contrôles de second niveau par sondages effectués également sous la responsabilité de l'Andra dans le cadre de la surveillance de la maîtrise de la qualité des colis. Si les contrôles relevant de la responsabilité des producteurs sont effectués sur leurs sites de production, de conditionnement et d'entreposage, les contrôles de l'Andra pourront, selon les cas, être effectués sur des sites des producteurs ou sur le site de Cigéo. L'Andra recherchera en lien avec les producteurs une optimisation d'ensemble de la chaîne de contrôles des colis, dans le respect de leurs responsabilités respectives. L'Andra présentera dans le dossier de demande d'autorisation les dispositions de contrôle des colis permettant de s'assurer de la conformité des colis stockés aux spécifications d'acceptation.

La réversibilité

Les échanges sur la réversibilité se sont poursuivis entre l'Andra et les parties prenantes, notamment le CLIS. L'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE a mené entre 2007 et 2011 un projet international sur la réversibilité et la récupérabilité, avec pour but de donner un aperçu objectif des interrogations et points de vue dans quinze pays membres de l'AEN. Une conférence internationale s'est tenue à Reims en décembre 2010. Au terme du projet, l'AEN a publié une compréhension internationale⁹⁹ des notions de réversibilité des décisions et de récupérabilité des déchets, comprenant notamment, à l'initiative de l'Andra, une échelle de récupérabilité destinée à faciliter le dialogue avec les parties prenantes. Le débat public prolongera le dialogue sur la réversibilité déjà engagé par l'Andra avec les parties prenantes.

⁹⁹ Compréhension internationale des notions de réversibilité des décisions et récupérabilité des déchets dans un stockage géologique, AEN novembre 2011 ; Réversibilité des décisions et récupérabilité des déchets radioactifs, AEN n° 7105, OCDE 2012.

Dans son avis du n°2011-AV-129 26 juillet 2011, l'ASN a rappelé que, sur le plan des principes, la réversibilité ne peut avoir qu'une durée limitée. En effet, une fermeture du stockage trop longtemps différée pourrait remettre en question la notion même de stockage. L'ASN a rappelé par ailleurs que les dispositions retenues pour la réversibilité du stockage ne doivent pas compromettre le respect des objectifs de sûreté et de radioprotection tant en exploitation qu'après la fermeture du stockage.



Evolution de la facilité de retrait et de la passivité de l'installation en fonction du niveau dans l'échelle AEN¹⁰⁰

La surveillance de la santé et de l'environnement

Les modalités proposées pour la surveillance de l'environnement et de la santé seront présentées dans le dossier support au débat public. L'estimation des rejets de Cigéo sera établie par l'Andra à partir des connaissances fournies par les producteurs sur les dégagements gazeux des colis et leur expérience de l'entreposage.

L'Andra a mis en place en 2007 un Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) en Meuse/Haute-Marne afin d'établir l'état initial pour le dossier de demande d'autorisation sur plusieurs années et de préparer le dispositif de suivi de l'environnement qui sera mis en place pour Cigéo. L'OPE permet de disposer d'un retour d'expérience sur un grand nombre de

¹⁰⁰ Source: AEN

paramètres mesurables dans les différents compartiments de l'environnement, sur une zone de l'ordre de 250 kilomètres-carrés et de chroniques pluriannuelles. L'OPE constitue non seulement un outil de suivi sur le très long terme, mais aussi un moyen d'enregistrement des paramètres environnementaux. Il a obtenu le label « Système d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement » en 2010.

L'Andra mettra en service en 2013 une écothèque pour assurer la conservation sur le long terme d'échantillons représentatifs qui permettront des analyses rétrospectives. Cette première écothèque française est actuellement en construction pour les besoins de l'Andra. Elle pourra être ouverte à la recherche publique.

Ces équipements pourraient être intégrés dans une « Structure pour l'observation et la mémoire de l'environnement et de la Terre » et contribuer à la mise en place d'un campus national scientifique et technique en Meuse/Haute-Marne autour de la thématique de l'environnement et de la mémoire.

Le suivi sanitaire

Les populations locales ont plusieurs fois exprimé leur souhait de voir une surveillance sanitaire mise en place autour du projet. L'Andra proposera des modalités techniques pour cette surveillance sanitaire, mais sa gouvernance nécessite un pilotage par des instances publiques.

L'annexe relative aux concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture présente les dispositions de conception retenues pour répondre aux objectifs de sûreté ainsi que les dispositions relatives à la surveillance de l'installation du projet de stockage Cigéo.

3.3.5 Les recherches sur la séparation-transmutation

Parmi les principaux enseignements des études menées dans le cadre du précédent PNGMDR sur la séparation transmutation, il ressort que :

- la transmutation des actinides mineurs, si elle ne modifie pas, en scénario d'évolution normale, l'impact radiologique estimé du stockage, permet toutefois une diminution de l'emprise du stockage et de la radio-toxicité à long terme des déchets ultimes ;
- la séparation transmutation peut être considérée à ce titre comme une voie potentielle de progrès pour les systèmes nucléaires futurs, sous réserve de la confirmation de la faisabilité du multi-recyclage du plutonium, dans les réacteurs à flux de neutrons rapides qui sont les plus appropriés pour ces opérations (la transmutation des éléments déjà conditionnés dans le verre ne paraît pas envisageable) ;
- elle présente des inconvénients (inventaires en cycle accrus, difficultés pour les opérations du cycle, surcoûts, notamment) qui définissent des objectifs pour la suite des recherches, et conduisent par ailleurs à focaliser les recherches en premier lieu sur la séparation-transmutation de l'américium qui procurerait par ailleurs une réduction de la thermique des déchets.

Les principaux enjeux de R&D pour la période 2013-2015 présentés en annexe dans le volet recherche liées aux décisions qui pourraient être prises après le rendez-vous de 2012 prévu par l'article 3 de la loi du 28 juin.

3.3.6 Perspectives

3.3.6.1 Entreposage et transport

Concernant les études et recherches sur l'entreposage, l'Andra poursuivra d'ici 2015 le recueil et la capitalisation du retour d'expérience de la construction et de l'exploitation des installations existantes ou en développement, amorcés dans la période 2010-2012. Elle continuera également ses recherches sur le comportement des matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages d'entreposage et des matériaux de colisage et les techniques de surveillance. Dans la période 2013-2015, elle approfondira les concepts d'entreposage liés à la réversibilité en tenant compte notamment de l'état des colis retirés du stockage.

L'Andra élaborera d'ici 2015 un guide de recommandations pour la conception d'installations d'entreposage s'inscrivant dans la complémentarité avec le stockage. Le contenu des études et recherches à mener sur la période 2013-2015 sera précisé dans le cadre de l'analyse du bilan attendu fin 2012.

Concernant l'adéquation des capacités d'entreposage avec les inventaires prévisionnels, les travaux, menés par AREVA, le CEA et EDF, en lien avec l'Andra, se poursuivront sur la période 2013-2015 en recherchant si possible une optimisation du système global. Ils exploiteront les résultats des études d'installations sur les sites des producteurs, notamment le site de Marcoule et ceux des études d'esquisse puis d'avant-projet sommaire du projet de stockage Cigéo. Sur cette base, l'Andra présentera dans une première version pour le débat public sur le projet de stockage Cigéo, puis au plus tard à l'horizon de la demande d'autorisation de création, les scénarios prévisionnels de gestion des colis de déchets, intégrant l'entreposage et le désentreposage, le conditionnement, les contrôles, les transports et le stockage. **En cohérence, les besoins en entreposage de colis de déchets HA et MAVL seront analysés par AREVA, le CEA, EDF en lien avec l'Andra d'ici mi-2015 en tenant compte des productions futures de déchets, du conditionnement, de l'ordonnancement des expéditions vers Cigéo et de la réversibilité du stockage.**

En ce qui concerne le transport, dans la période 2013-2015, les producteurs de déchets réaliseront d'ici mi-2015 des études d'orientation sur les emballages futurs à construire, afin d'assurer la compatibilité des installations de surface du projet de stockage Cigéo.

Concernant le site de Marcoule, le CEA effectuera d'ici mi-2015 :

- un bilan, en liaison avec les chroniques de prise en charge par l'Andra, sur les scénarios de désentreposages des colis de déchets vitrifiés jusqu'à l'expédition des colis vers le projet Cigéo ;
- une étude de faisabilité des aménagements à réaliser sur et à proximité du site de Marcoule pour permettre l'expédition de colis de déchets vers le projet de stockage Cigéo.

3.3.6.2 Conditionnement des déchets¹⁰¹

En matière de procédés de traitement et de conditionnement, les enjeux importants des années à venir restent :

- la décontamination : pour les liquides, réduction des quantités de réactifs et de toxiques chimiques en liaison avec les évolutions des réglementations ; pour les solides, réduction des quantités d'effluents générés ;
- le développement de voies de traitement des déchets contenant des matières organiques, notamment les déchets technologiques (gants en latex ou néoprène, autres polymères...) ou d'effluents (solvants organiques, solutions tensioactives...) ;
- l'élargissement du domaine des déchets pouvant être conditionnés par cimentation, compactage ou vitrification, tout en conservant les atouts en termes de coût et de mise en œuvre ; l'étude de formulation des bétons pour conditionner des effluents liquides, le développement de formulations cimentaires dédiées en fonction du type de déchet, le développement de procédés respectant les critères de sûreté de production, de gain volumique et de qualité de confinement...

Les études de comportement à long terme des colis de déchets MAVL continueront à porter sur trois grandes thématiques :

- le comportement des colis de boues bitumées ;
- la production de gaz issus de la corrosion des matériaux métalliques et la production de gaz radioactifs ;
- l'étude de la radiolyse des organiques (autres que les boues bitumées) et des matériaux cimentaires.

Concernant le cas particulier des déchets technologiques contenant des matières organiques, irradiants ou riches en émetteurs alpha :

- **Areva transmettra avant le 31 décembre 2014, ses études relatives au développement du procédé retenu de traitement thermique des déchets riches en émetteurs alpha et des colis associés et devra conclure sur la faisabilité de la mise en œuvre et de la nucléarisation du procédé retenu. Areva transmettra avant le 31 décembre 2014, un calendrier engageant de développement du procédé retenu en justifiant les délais prévus pour la réalisation des étapes clés du développement, qui permettent de respecter l'échéance de 2030 fixée par l'article 542-1-3 du code de l'environnement ;**
- **le CEA transmettra, pour le 31 décembre 2014 un inventaire des matières organiques présentes ainsi que des complexants qu'elles sont susceptibles de produire au sein des colis de déchets alpha à produire ou en cours de production. Le CEA transmettra dans les mêmes délais les résultats des campagnes de mesures de dégazage en cours et les comparaisons avec les résultats de la modélisation. Il complètera l'estimation des taux de dégazage des colis de déchets alpha en y ajoutant l'estimation de l'hydrogène provenant de la radiolyse de l'eau interstitielle du béton du conteneur.**

¹⁰¹ L'avis n°2012-AV-0167 du 4 octobre 2012 sur le conditionnement des déchets MAVL produits avant 2015 sera 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 »

Enfin, **concernant les déchets MAVL produits avant 2015 à conditionner au plus tard en 2030**, ou qui sont conditionnés selon des modalités potentiellement incompatibles avec leur admission dans les installations de stockage à l'étude, AREVA, le CEA et EDF devront transmettre une étude présentant l'état d'avancement de la caractérisation des déchets MAVL et les options consolidées de conception des nouveaux colis de déchets en adéquation avec la filière de stockage telle qu'envisagée. **Les exploitants devront transmettre, pour le 31 décembre 2014 la stratégie qu'ils adoptent pour respecter l'objectif de 2030 fixée à l'article L.542-1-3 du code de l'environnement.**

3.3.6.3 Le stockage réversible en couche géologique profonde

Le débat public et le dossier de demande d'autorisation de création

L'Andra présentera une esquisse du projet industriel Cigéo en 2013 avec un volet spécifique sur la première tranche. Celle-ci comprendra en particulier plusieurs ouvrages témoins ainsi que des démonstrateurs de scellement. La flexibilité du projet (le creusement des galeries souterraines se fait au fur et à mesure des besoins) permet son adaptabilité à l'évolution du système énergétique français. Ces études d'esquisse feront l'objet en 2013 d'un avis de l'ASN et de la CNE. **L'Andra a prévu d'engager les études d'avant-projet en octobre 2013 en vue d'une remise de la demande d'autorisation de création en septembre 2015.**

Le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo contiendra en particulier un rapport préliminaire de sûreté (RPrS) dans lequel l'Andra démontrera de façon détaillée et justifiée la sûreté de l'ensemble des opérations à réaliser dans le cadre de la première tranche d'exploitation du stockage, dont les opérations seront autorisées par le décret d'autorisation de création. De plus, le RPrS devra contenir les éléments permettant d'évaluer la sûreté de l'ensemble des opérations incluses dans le périmètre demandé pour le décret d'autorisation de création. Enfin, le dossier support (RPrS et pièce dédiée à la sûreté après fermeture) devra également contenir des éléments sur l'architecture et sur la faisabilité et la performance de tous les composants du stockage à terminaison. Notamment, il devra contenir des éléments probants permettant d'apprécier la faisabilité d'au moins une solution technique pour le passage en phase de surveillance du stockage (scellement).

L'Andra intégrera des spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets dans le dossier de demande d'autorisation. L'Andra établira la liste des colis déjà produits pour lesquels la démonstration du respect des critères de sûreté essentiels pour leur acceptation en stockage n'est pas acquise à ce stade et l'argumentaire détaillé associé. Elle identifiera les colis de déchets et les déchets non conditionnés qui posent des problématiques relevant de la maîtrise du comportement phénoménologique en conditions de stockage ou de la compatibilité avec les solutions de stockage prévues et qui pourraient faire l'objet d'études sur des voies de conditionnement ou de traitements alternatifs et explicitera ces-dites problématiques de façon détaillée.

Conformément à l'article L.542-12 du code de l'environnement, l'Andra transmettra à l'Etat un dossier de chiffrage des coûts du projet Cigéo. Après avoir recueilli les observations des producteurs de déchets et l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, le ministre chargé de l'énergie arrêtera l'évaluation des coûts du stockage et la rendra publique.

Lors du débat public, l'Andra présentera les dispositions qu'elle envisage en matière de réversibilité. Celle-ci concerne d'une part des fonctionnalités et dispositions techniques intégrées à la conception de Cigéo pour faciliter un retrait éventuel de colis et pour renforcer la capacité d'adaptation de l'architecture souterraine au fur et à mesure de son développement, d'autre part la gouvernance du stockage. Celle-ci comprendrait des points de rendez-vous avec les parties prenantes, après délivrance de l'autorisation de création du Centre, pour réexaminer périodiquement les options de gestion des déchets et du stockage et les conditions de réversibilité. **Les structures et modalités de gouvernance à mettre en place pourront ainsi être discutées préalablement à la formulation par l'Andra à mi-2015 de propositions en vue de la loi fixant les conditions de la réversibilité.**

La recherche et le développement

Pour le projet Cigéo, la R&D aura pour objet, d'ici à 2015 :

- d'apporter les éléments scientifiques et techniques permettant de compléter les démonstrations, notamment de sûreté, en support à la demande d'autorisation de création; une attention particulière est portée aux techniques de réalisation et aux performances des scellements de l'installation souterraine ;
- de développer les techniques innovantes à intégrer à la construction et à l'exploitation du Centre, et les moyens d'observation et de surveillance ;
- de préparer des démonstrateurs de scellement qui seront inclus dans la première tranche de construction du projet Cigéo, en complément des expérimentations menées dans le laboratoire souterrain ;
- de préparer le développement des tranches futures de Cigéo.

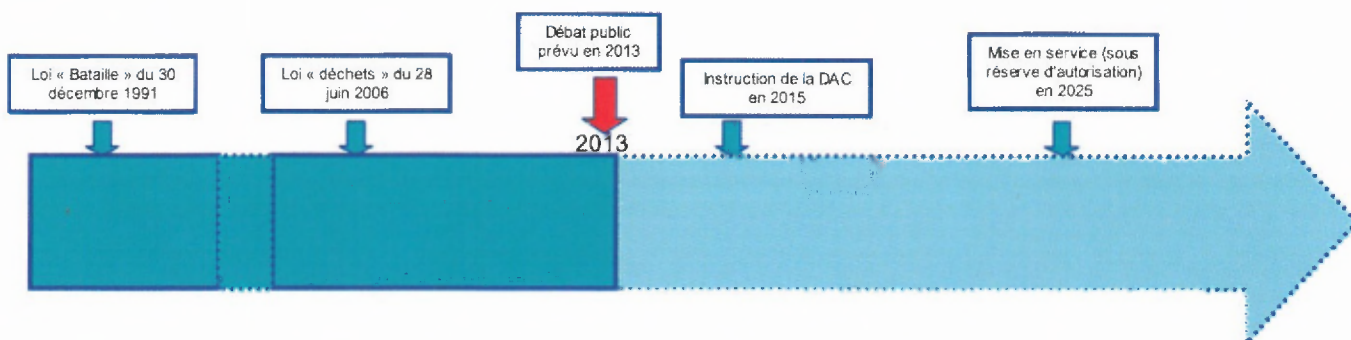
Les recherches sur le stockage direct des combustibles usés seront poursuivies. L'Andra s'attachera d'ici 2015 à mettre à jour l'évaluation de faisabilité qu'elle avait présentée en 2005, en prenant en compte les évolutions de connaissances intervenues depuis : concepts de conteneurs et d'alvéoles de stockage, prédimensionnement thermique, architecture et emprise des quartiers de stockage, impact thermo-hydrromécanique et fonctionnement hydraulique du stockage, évaluations de criticité et d'impact radiologique. En complément à l'option d'un stockage en l'état des assemblages, d'autres options de stockage pourront être explorées et comparées.

Plus généralement, la poursuite de la R&D sur les déchets, leur conditionnement, leur contrôle et leur stockage participera tant à la sûreté et à l'optimisation technico-économique de Cigéo en proposant des optimisations au fur et à mesure de l'exploitation du centre qu'à la réversibilité en ouvrant sur des évolutions possibles.

De façon complémentaire aux travaux menés dans les domaines techniques (géosciences, matériaux, instrumentation, simulation...) les développements dans les sciences humaines et sociales seront poursuivis, afin d'apporter des éclairages notamment pour la gouvernance du stockage. L'Andra et le CNRS, en lien avec les parties concernées, piloteront ces études.

3.3.6.4 Séparation-transmutation

En ce qui concerne la séparation-transmutation, les études pour la période 2013-2015 seront liées aux décisions qui seront prises à la suite de la remise des dossiers par le CEA fin 2012.



Principaux jalons relatifs à la gestion des déchets HA-MAVL

3.4 Amélioration de la cohérence globale de la gestion des matières et des déchets radioactifs

Afin d'améliorer la gestion globale des déchets radioactifs, des groupes de travail ont été mis en place dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 afin de proposer des solutions d'optimisation entre filières de gestion d'une part et d'étudier les déchets qui ne disposent pas encore de filière d'autre part. **Les travaux de ces groupes de travail se poursuivront et les rapports rédigés en 2011 feront l'objet d'une actualisation en 2014.**

Il est en effet souhaitable de réaliser des optimisations dans la répartition entre les filières de gestion. Ainsi, le tri des déchets et des colis a été identifié comme l'un des axes forts de la démarche d'optimisation. Parallèlement, ont été examinées des hypothèses de traitement possibles pour des catégories de déchets représentant des volumes importants.

Sur la base de l'édition 2009 de l'Inventaire national, il a été mis en évidence qu'environ 0,1% du volume des déchets produits ne pouvaient être rattachés à des filières existantes ou en projet. Cinq catégories de déchets ont été identifiées comme « sans filière » : les huiles et liquides organiques non incinérables, certains déchets amiantés susceptibles de relâcher des fibres, les déchets contenant des composés du mercure potentiellement hydrosolubles, les aiguilles sodées des barres de commande de Phénix et Superphénix ainsi que les pièces activées des accélérateurs. Des études sont en cours pour ces catégories de déchets actuellement sans filière, en vue de déterminer les actions à mettre en œuvre pour rendre leur gestion compatible avec des filières existantes ou à créer.

3.4.1 Optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion

Le PNGMDR 2010-2012 a dressé le constat que la classification actuelle des déchets, par souci de simplification, est focalisée sur deux critères majeurs, le niveau d'activité et la période des radionucléides qu'ils contiennent mais que, dans la réalité, des critères supplémentaires doivent être pris en compte afin de déterminer si un type de déchet peut être accepté dans une filière de gestion donnée. En effet, chacun des centres de stockage de déchets actuels ou futurs dispose ou disposera de critères d'acceptation relatifs à la forme physique, la toxicité chimique, la puissance thermique, le dégagement gazeux, la capacités radiologiques, etc. issus notamment des évaluations de l'impact des stockages à long terme et des contraintes d'exploitation. Par ailleurs, le conditionnement même d'un déchet est un paramètre qui influe sur l'orientation de celui-ci vers un exutoire donné.

La situation est rendue complexe par le nombre de critères à prendre en compte, mais également par le fait que ces critères peuvent évoluer, notamment à la suite de la mise en service d'un nouveau stockage, ou à l'émergence d'une nouvelle technologie de traitement de déchets, de conditionnement ou de stockage. Une optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion est donc souhaitable et doit être mise à jour périodiquement. Il a ainsi été demandé par le PNGMDR 2010-2012 qu'un groupe de travail soit constitué pour traiter du sujet de l'optimisation de la répartition des déchets entre les filières de gestion existantes ou en projet.

Le groupe s'est attaché à recenser l'ensemble des déchets qui méritaient de faire l'objet d'une réflexion sur les possibilités d'optimisation de leur mode de gestion en se plaçant sous l'angle de la bonne utilisation des différentes ressources de stockage (stockage de surface au CSA,

perspectives de stockage en subsurface des déchets de type FAVL et stockage dans Cigéo pour les déchets de type HA-MAVL) et de la cohérence globale des modes de gestion. L'examen des possibilités techniques et des perspectives industrielles a été fait en tenant compte en premier lieu des contraintes de sûreté en exploitation et à long terme. Ainsi, les déchets prioritairement retenus par la recherche d'une optimisation sont :

- les déchets qui pourraient changer d'exutoire ou voir leur filière de gestion évoluer sous réserve d'un traitement amont ;
- les déchets dont l'état de caractérisation ne permet pas de définir une orientation définitive ;
- les déchets destinés à un exutoire dont l'existence n'est pas assurée ou dont les limites ne sont pas clairement définies ou figées.

L'étude réalisée montre que le tri des déchets et des colis (dans le cas où la production a débuté) est l'un des axes forts de la démarche d'optimisation. Si la connaissance radiochimique des déchets est suffisamment précise, l'évaluation de l'intérêt de cette démarche d'optimisation est possible à partir du moment où les critères d'acceptation dans les différents types de stockage sont déterminés et connus. Le spectre des déchets pouvant être concernés par le tri sera d'autant plus large que l'ensemble des déchets sera mieux caractérisé au plan radiochimique, ce qui montre également tout l'intérêt de la poursuite de la démarche d'amélioration de la caractérisation des déchets.

Parallèlement à la réflexion sur les possibilités associées au tri, le groupe de travail a également examiné des hypothèses de traitement possibles pour deux catégories de déchets importantes en volume. Pour les déchets de type FAVL de graphite, une voie pourrait consister à concentrer les radionucléides dans un faible volume de résidus qui pourraient être dirigés vers le projet de stockage Cigéo, le graphite restant pouvant alors, sous certaines conditions de performance du traitement, faire l'objet d'un stockage sous couverture remaniée (SCR). Pour les résidus solides banalisés de Rhodia, dont l'activité est proche de celles de déchets TFA mais dont la teneur en thorium les oriente vers la filière FAVL, deux types de traitements pourraient présenter un intérêt, soit en vue d'une valorisation économique de certains produits, soit pour une réduction du volume des déchets, soit encore pour une orientation vers des filières de stockage de surface (installation de stockage de déchets dangereux, stockage des déchets TFA sur le Cires).

Le tableau suivant montre, de manière synthétique, pour l'ensemble des familles de déchets présentant un intérêt vis-à-vis d'une optimisation, les actions identifiées en vue d'une mise en œuvre possible de cette optimisation (la catégorie IN représente la filière de gestion à long terme dont relève aujourd'hui le déchet dans l'Inventaire national).

Producteur	Description du déchet	Catégorie IN	Actions identifiées pour la recherche d'optimisations
RHODIA	Résidus Solides Banalisés (RSB)	FA-VL	Traitement
AREVA	Colis d'enrobés bitumineux produits à partir d'effluents traités dans STE3	MA-VL	Tri des colis
AREVA	Colis de boues STE2 conditionnées dans une matrice bitumineuse	MA-VL	Tri des colis
AREVA	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs bétons fibres CBF-C2	MA-VL	Tri des colis
EDF	Déchets provenant de la déconstruction des réacteurs de première génération d'EDF	FMA-VC	Caractérisation, tri
EDF	Colis de déchets de procédés issus de la déconstruction des réacteurs UNGG d'EDF	FA-VL	Tri
EDF	Déchets de graphite provenant des réacteurs UNGG d'EDF	FA-VL	Tri, traitement
CEA	Déchets de graphite provenant des réacteurs du CEA	FA-VL	Tri, traitement
CEA	Fûts d'enrobés bitumineux fabriqués à Marcoule	MA-VL	Caractérisation, tri des colis
CEA	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en fûts métalliques de Cadarache	MA-VL	Caractérisation, tri
CEA	Déchets de structure métallique en fût 380l de Marcoule	MA-VL	Caractérisation, tri
CEA	Déchets magnésiens en fût 223l de Marcoule	MA-VL	Caractérisation, tri
CEA	Déchets de procédé en fût 380l de Marcoule	MA-VL	Caractérisation, tri
CEA	Déchets technologiques métalliques en fût 380l de Marcoule	MA-VL	Caractérisation, tri

Pistes d'optimisation retenues pour chaque famille de déchets par le groupe de travail

A partir de cette typologie, plusieurs scénarios globaux de répartition des déchets entre les différentes filières ont été envisagés. Afin de mener l'examen le plus large possible, le groupe a travaillé en prenant en compte l'ensemble des voies envisageables aujourd'hui pour le stockage. En particulier, le groupe a considéré quatre hypothèses quant à l'existence et aux caractéristiques du mode de stockage qui pourrait être mis en œuvre pour les déchets de type FAVL¹⁰², dans la mesure où, à ce stade, le choix n'a pas encore été arrêté. En l'absence de disponibilité d'un type de stockage, les déchets sont orientés vers le stockage dont les critères d'acceptation sont compatibles. Par exemple, en l'absence de stockage pour les déchets FAVL, l'ensemble des déchets qui relèveraient d'un tel stockage serait réorienté vers Cigéo.

Globalement les résultats de l'exercice montrent que les différentes pistes d'optimisation conduiraient à augmenter l'inventaire des déchets destinés au stockage sous couverture remaniée (SCR) pour les déchets de type FAVL et à diminuer celui des déchets destinés au stockage sous couverture intacte (SCI) pour les déchets de type FAVL, notamment du fait du tri ou du traitement des graphites qui influencent le plus les résultats. Au delà de ce constat de premier niveau, les résultats permettent de disposer d'éléments faisant apparaître les effets des différentes pistes d'optimisation qui pourraient être, le cas échéant, déployées industriellement. Néanmoins, il ne s'agit que d'un travail d'étape car pour pouvoir confirmer l'intérêt de ces scénarios, il est nécessaire de progresser sur plusieurs points :

- une meilleure connaissance de la répartition du contenu radiologique des déchets (en particulier des déchets de graphite) permettra d'identifier de manière plus précise les possibilités d'optimisation associées au tri des déchets ;

¹⁰² Disponibilité d'un seul ou de deux types de stockage pour les déchets de type FAVL (sous couverture intacte SCI, sous couverture remaniée SCR ; cf. §3.2.3) et absence de stockage disponible pour les déchets FAVL.

- le rapport que l'Andra remettra fin 2012 concernant les scénarios de gestion des déchets de type FAVL devrait conduire à proposer des adaptations à la démarche de recherche de site lancée en 2008 ainsi qu'à définir un nouveau calendrier pour le projet. La faisabilité technique des scénarios de tri/traitement du graphite et d'autres familles de déchets potentiellement compatibles avec un stockage SCR pourra ensuite être confirmée ou infirmée, sur la base des caractéristiques de site qui seraient acquises *in situ* ;
- des résultats d'essais et d'études sont attendus à l'horizon 2014 sur la faisabilité industrielle du traitement du graphite.

Pour les colis déjà produits et caractérisés, la détermination de critères d'acceptation des déchets dans les stockages SCR et SCI permettra de poursuivre les études d'optimisation (exemple de certains colis de déchets solides cimentés en conteneurs béton fibre CBF-C'2 dont les caractéristiques radiologiques ne répondent pas aux critères d'acceptation du centre de stockage de l'Aube conduisent à envisager par défaut un stockage dans Cigéo alors qu'un stockage de type SCR pourrait également être étudié).

Le rapport d'étape établi par l'Andra, AREVA, le CEA, EDF et Rhodia dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 devra être actualisé avant fin 2014, pour présenter des scénarios industriels plus complets, intégrant les opérations à réaliser (tri, traitement...) en amont du stockage des déchets, ainsi que les grands principes d'acceptation à respecter dans les stockages de type SCR et SCI.

En particulier, AREVA, Rhodia, EDF et le CEA devront poursuivre les travaux de caractérisation des déchets et colis de déchets déjà produits afin de disposer d'éléments permettant d'orienter les déchets vers la filière de stockage la mieux appropriée. Par ailleurs, pour les colis d'enrobés bitumineux, les déchets de graphite et les résidus solides banalisés, les exploitants concernés devront présenter les solutions de gestion alternatives au stockage et la stratégie qu'ils proposent de retenir.

3.4.2 Gestion des déchets actuellement sans filière

Les travaux menés dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 ont confirmé que 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. Sur la base de l'Inventaire national 2009, il a été mis en évidence que seul 0,1% du volume des déchets produits jusqu'à maintenant ne pouvaient être rattachées à des filières existantes ou en projet.

Au titre du PNGMDR 2010-2012, il a donc été demandé qu'un groupe de travail soit constitué afin de définir des modalités de gestion adaptées à ces déchets et que, dans ce cadre, soit remise une étude dressant un état des lieux et proposant un programme de travail pour la définition de modalités de gestion adaptées à ces déchets actuellement sans filière.

Le groupe s'est attaché à adopter une démarche exhaustive, avec une première tâche de consolidation de l'inventaire sur la base de la liste des déchets identifiés dans le PNGMDR 2010-2012, de la déclaration des producteurs à l'Inventaire national et d'une démarche complémentaire d'examen de l'ensemble des déchets sans filière d'élimination définie, ni exutoire avéré, c'est-à-dire sans filière d'élimination définie.

L'analyse de l'inventaire ainsi réalisé a permis de constater que les caractéristiques générales de la plupart des déchets initialement recensés entre dans le spectre des filières de gestion existantes ou

en projet. Quatre catégories considérées comme « prioritaires » de déchets ont été identifiées par le groupe de travail comme répondant effectivement à la définition de déchets sans filière d'élimination. Elles nécessitent donc des programmes spécifiques en vue de déterminer les actions à mettre en œuvre pour les rendre compatibles avec des filières existantes ou à créer. Il s'agit, comme le montre le tableau ci-dessous :

- des huiles et les liquides organiques non incinérables compte tenu de leurs spécifications physico-chimiques et de leur activité ;
- de certains déchets amiantés susceptibles de relâcher des fibres (amiante libre) ;
- des déchets contenant des composés du mercure potentiellement hydrosolubles ;
- des aiguilles sodées des barres de commande de Phénix et Superphénix.

Déchets identifiés dans le cadre du PNGMDR-2010-2012		
Certains solvants et huiles usagés	Certains déchets amiantés	Déchets incinérables tritiés
Réflecteurs en béryllium irradiés	Fourchette absorbante du réacteur	Détecteurs BF3
Plomb irradié	Aluminium irradié	Cadmium irradié
Nitrate d'uranyle	Déchets avec de l'acide borique	Silice (ISOTOPCHIM) ¹⁴ C
Boues d'épuration d'effluents	Cendres spéciales	Mercuré contaminé
Châteaux de plomb	Déchets de cobalt	Déchets d'hafnium
Ampoule contenant de l'UF6	Distillats tritiés	NaK caloporteur
Porogène et lubrifiant		
Déchets identifiés dans le cadre du recensement complémentaire		
Matériaux réactifs avec le béton (aluminium, magnésium...)	Batteries piles et DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques)	Aiguilles sodées des barres de commande de Phénix et SuperPhénix

	Filière d'élimination définie
	Déchets avec filière d'élimination définie (caractérisation complémentaire requise)
	Déchets sans filière définie

Rappel des déchets sans filière identifiés dans le cadre du PNGMDR-2010-2012

Solvants et huiles usagés.

Les déchets de type huiles ou solvants usagés sont en général traités par incinération, pour l'essentiel dans l'installation CENTRACO de SOCODEI. Cependant, tous ne répondent pas aux spécifications d'acceptation de cette installation au regard de leur activité radiologique ou de leur composition chimique.

Pour ces déchets, les industriels producteurs sont donc amenés à développer des procédés spécifiques. Plusieurs voies font aujourd'hui l'objet de travaux et sont susceptibles d'être portées à l'échelle industrielle. Le CEA développe un procédé (DELOS) pour le traitement (par lavage et évaporation) de lots homogènes de solvants non halogénés, permettant la minéralisation, par un traitement d'oxydation hydro-thermale, des résidus non incinérables. Le CEA développe également un second procédé (IDHOL) adapté pour les solvants halogénés, reposant sur un traitement de destruction des composés organiques en plasma d'oxygène en vue de produire un effluent pouvant ensuite être dirigé vers les stations de traitement des effluents. De son côté, pour le traitement des mélanges huiles-solvants chlorés, AREVA a investigué la voie de

traitement bactériologique, mais ne dispose pas à ce jour d'éléments suffisants pour s'assurer de la destruction de certains composants des huiles.

Ces procédés sont aujourd'hui à des stades de maturité différents, l'enjeu est de développer et de porter au stade industriel les procédés les plus performants permettant de traiter les solvants et huiles produits par les installations nucléaires de base ainsi que par les petits producteurs de déchets hors électronucléaire.

Déchets amiantés

Le risque de toxicité chimique de l'amiante libre conduit aujourd'hui à classer les déchets contenant de l'amiante libre comme « sans filière ». Ce risque de toxicité est associé à la remise en suspension potentielle des fibres en conditions d'exploitation et dans le cadre des scénarios de sûreté des centres de stockage sur le long terme.

L'amiante libre est interdit dans les centres de stockage de l'Aube pour ces raisons et nécessite donc la mise au point d'une solution de traitement qui permette son élimination sans risque. Des procédés ont été identifiés comme la cimentation, la destruction thermique ou la vitrification. Les études sur les procédés de traitement envisageables doivent être poursuivies afin de disposer des éléments techniques et économiques nécessaires au choix de la ou des filière(s) de traitement à retenir.

Sur le centre de stockage du Cires, les déchets contenant de l'amiante lié sont autorisés en stockage direct. Toutefois, l'arrêté préfectoral impose de tenir à jour « un inventaire cumulé et par alvéole de l'amiante » et l'Andra limite strictement l'acceptation de celui-ci. De même, sur le centre de stockage de l'Aube, l'amiante lié est autorisé en stockage (et interdit dans l'atelier de compactage) pour un volume limité. L'Andra a confié à l'ANSES¹⁰³ une étude relative à l'acceptation de l'amiante afin de définir précisément les valeurs acceptables en particulier sur le centre de stockage du Cires. Parallèlement, les producteurs devront affiner la connaissance des quantités réelles d'amiante contenues dans les déchets d'amiante produits et à produire.

Mercuré contaminé

La toxicité portée par les déchets contenant du mercure est essentiellement liée à la toxicité chimique du mercure, classés comme déchets dangereux au titre de l'article R.541-8 du code de l'environnement.

L'enjeu est de mettre au point des traitements de stabilisation physico-chimique permettant d'éviter toute volatilisation du mercure dans l'atmosphère ou sa lixiviation dans les sols. Les différents procédés s'orientent vers la stabilisation sous forme de sulfure mercurique, classé comme non dangereux.

Les études en cours visent à parvenir à la mise en place d'une installation à l'horizon 2014.

Aiguilles sodées des barres de commande de Phénix et Superphénix

Les déchets nucléaires sodés constitués par les aiguilles des barres de commande de réacteur proviennent des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium : Rapsodie, Phénix et Superphénix. Ces aiguilles peuvent comporter du sodium en quantité variable à ce jour difficilement quantifiable de manière fiable.

¹⁰³ Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Les risques induits par ces aiguilles contenant du sodium sont liés à la réactivité de ce dernier au contact de l'eau générant à la fois un dégagement de dihydrogène (gaz explosif), une production de soude et un dégagement thermique (source d'ignition) jusqu'à potentiellement la consommation complète du sodium. La réaction qui génère une production de dihydrogène à la cinétique variable (de lente à brutale) doit être maîtrisée en tenant compte des conditions dans lesquelles elle se produit (quantité de sodium, vitesse d'arrivée de l'eau, géométries des cavités contenant le sodium...).

Afin de maîtriser ces risques, plusieurs dispositions sont actuellement envisagées comme étant susceptibles de limiter le dégagement d'hydrogène et la quantité de chaleur produits par la réaction sodium-eau. Ces dispositions ont pour objectifs soit d'éviter la réaction en gérant les sources de la réaction (désodage des déchets), soit de favoriser une cinétique lente de production (mise en œuvre de conditions physico-chimiques favorables au plus près des déchets, limitation des venues d'eau au niveau du déchet, du colis de stockage et/ou de l'alvéole). Au stade actuel des connaissances et afin de justifier de la maîtrise des risques associés au stockage de ces déchets sodés, il n'est pas possible de privilégier une solution plutôt qu'une autre.

Un groupe de travail composé de l'Andra, du CEA et d'EDF a engagé la réflexion sur cette problématique spécifique posée par les déchets sodés dans l'optique d'une prise en charge de ces déchets en stockage géologique profond Cigéo.

Trois axes de recherche devront notamment faire l'objet d'une réflexion plus approfondie :

- la caractérisation de la réaction sodium/eau (liquide et vapeur d'eau) dans les conditions du stockage, dans l'objectif de définir un éventuel seuil d'acceptation d'une quantité limitée de sodium dans les colis de déchets ;
- la recherche de procédés permettant un désodage afin d'éliminer le sodium dans ces déchets ou le cas échéant d'en limiter la quantité ;
- la recherche d'un concept de conteneur étanche durable permettant de ralentir la réaction sodium/eau.

Pièces activées d'accélérateurs

En complément aux travaux menés pour les quatre catégories de déchets ci-dessus, les pièces activées issues des accélérateurs (une trentaine d'accélérateurs seront démantelés dans une dizaine d'années en complément aux pièces activées déjà produites) nécessitent la définition d'une filière de gestion. La difficulté réside en la caractérisation de ces déchets en émetteurs bêta purs à vie longue qui requiert des mesures sur échantillons et une modélisation très coûteuse à l'échelle des petits producteurs. Ces déchets sont en conséquence entreposés *in situ* dans des conditions de sûreté parfois non satisfaisantes.

L'étude d'une solution globale de gestion, intégrant un dispositif de caractérisation générique des déchets, devra être menée par l'Andra pour permettre la prise en charge des pièces activées dans ses centres de stockage.

Le groupe de travail mis en place dans le cadre du PNGMDR 2010-2012 sur le thème des déchets sans filière poursuivra sa tâche au delà de 2012. Sa mission consistera à suivre et à s'assurer de la progression des projets, dans l'objectif de définir les filières industrielles permettant la mise en place d'exutoires effectifs pour les quatre catégories de déchets identifiées. Afin de suivre l'avancement des actions engagées, la liste des déchets sans filière devra être actualisée en prenant notamment en compte la déclaration des producteurs à l'Inventaire national.

En vue de la prise en compte des résultats acquis, le groupe de travail remettra fin 2014 un rapport sur l'avancement des projets.

Conclusion

Conformément aux dispositions du code de l'environnement, 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. Elle 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).

Les déchets radioactifs sont très divers par leur radioactivité, la durée de vie des radioéléments ou les substances chimiques qu'ils contiennent, leur volume ou encore leur nature. Chaque type de déchets nécessite, depuis la production, en passant par le tri, le conditionnement, l'entreposage provisoire jusqu'à son exutoire final, la mise en place d'une filière de gestion adaptée à la nature des déchets afin de maîtriser les risques qu'ils présentent, notamment le risque radiologique.

En France, 90 % du volume des déchets radioactifs dispose d'ores et déjà de filières de gestion à long terme en exploitation, les autres déchets étant temporairement entreposés dans l'attente de la mise en service de telles filières. Toutefois, les 10% restants concentrent l'essentiel de la radioactivité. Si les matières et déchets radioactifs sont d'ores et déjà gérés de façon sûre, les recommandations présentées dans ce PNGMDR sont essentielles. Ces recommandations visent à poursuivre l'amélioration des modalités de gestion actuelles et la mise en œuvre des nouvelles filières pour l'ensemble des déchets. Elles 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, en particulier du stockage en couche géologique profonde retenu comme solution pour les déchets ultimes ne pouvant être stockés en surface ou en faible profondeur pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection.

L'édition 2013-2015 du Plan a été élaborée au regard des résultats des études engagées dans le cadre du Plan précédent, dont la majorité étaient reprises dans le décret et l'arrêté du 23 avril 2012 fixant les prescriptions relatives au PNGMDR 2010-2012. Elle s'appuie également sur l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs publié en juin 2012 par l'Andra, qui évalue les perspectives de production de déchets dans les prochaines décennies ainsi que les besoins en capacités d'entreposage.

Le PNGMDR 2013-2015 poursuit et étend les actions engagées dans la précédente version, il insiste sur la nécessité de développer des schémas industriels globaux de gestion et de développer des modes de gestion pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Il propose en particulier les actions suivantes.

Développer de nouveaux modes de gestion à long terme

Le PNGMDR 2013-2015 demande la poursuite des études et recherches portant sur les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue et notamment celles concernant le stockage en couche géologique profonde en projet, Cigéo, qui entrera dans une nouvelle phase pendant la période 2013-2015 avec le dépôt de la demande d'autorisation de création en 2015, précédée par un débat public prévu en 2013. Il demande également la poursuite des études sur le conditionnement des déchets de moyenne activité à vie longue afin notamment de respecter

l'objectif de 2030 pour le conditionnement des déchets produits avant 2015 fixé à l'article L.542-1-3 du code de l'environnement.

Concernant les déchets de faible activité à vie longue, le PNGMDR 2013-2015 demande de définir des scénarios de gestion, en poursuivant en particulier les études sur le tri, la caractérisation et le traitement des déchets de graphite et des déchets d'enrobés bitumineux, ainsi que les études de faisabilité relatives aux options de stockage des déchets déjà produits par Comurhex Malvési.

Améliorer les modes de gestion existants

Le PNGMDR 2013-2015 demande la mise en place d'outils permettant de suivre les capacités volumiques et radiologiques des centres de stockage et d'anticiper ainsi les besoins de nouvelles capacités. Il demande par ailleurs que soient développées des filières de valorisation pour les déchets de très faible activité afin de préserver la ressource que constitue le stockage.

Le PNGMDR 2013-2015 demande également la poursuite des études sur les résidus de traitement miniers afin de proposer des actions d'amélioration concrètes, que ce soit en matière de connaissance des risques d'exposition des populations, de tenue à long terme des digues ou d'évolution des techniques de traitement des eaux. Il demande par ailleurs que soit poursuivie la démarche mise en œuvre en application de la circulaire du Ministère en charge de l'écologie et de l'ASN du 22 juillet 2009 afin de déterminer si les lieux de réutilisation des stériles miniers sont compatibles avec les usages et d'en réduire l'impact le cas échéant.

Prendre en compte les événements marquants survenus sur la période 2010-2012

Par ailleurs, le PNGMDR 2013-2015 demande l'identification des investissements à réaliser pour assurer la pérennité des filières de gestion des déchets générés par les petits producteurs hors électronucléaire et de poursuivre en particulier les études relatives au traitement des déchets tritiés liquides et gazeux générés par ce secteur. Il demande également la poursuite des travaux engagés pour définir un schéma de gestion des sources scellées usagées. Enfin, le PNGMDR 2013-2015 demande l'établissement du retour d'expérience de l'arrêt pendant plusieurs mois de la filière d'incinération de Centraco et de proposer des actions pour sécuriser les filières de gestion des déchets radioactifs incinérables.

L'exhaustivité des sujets couverts par cette nouvelle édition a été renforcée. Le PNGMDR 2013-2015 tient également compte des dispositions 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 qui définit à son article 12 le contenu des programmes nationaux de gestion des déchets et combustibles usés. Il présente ainsi une description des enjeux financiers avec des indications sur les coûts et mécanismes de financement, les concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture ainsi que quelques indicateurs permettant d'évaluer l'avancement de la mise en œuvre du Plan. Le PNGMDR 2013-2015 présente par ailleurs les travaux menés dans le cadre du Comité directeur mis en place pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire ou d'une situation d'urgence dont l'importance a été rappelée par l'accident survenu en mars 2011 sur la centrale de Fukushima Dai-ichi.

Cette troisième édition du Plan a été revue dans sa structure pour en faciliter la compréhension en permettant plusieurs niveaux de lecture. Le PNGMDR 2013-2015 a été transmis au Parlement fin 2012 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 2013-2015 sera publié en 2013 pour formaliser les demandes et études à conduire. Ce Plan, ainsi que sa synthèse seront également mis en ligne sur les sites internet de l'ASN et de la DGEC.

Glossaire

ACRO : Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest
AEN : Agence de l'Energie 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
CE : Code de l'environnement
CERCA : Compagnie pour l'Etude 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
CNE : Commission Nationale d'Evaluation
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
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
DGEC : Direction Générale de l'Energie 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'Energie
DSI : Déchets Solides Incinérables
ENSREG : Forum Européen de l'Energie Nucléaire, du groupe européen des régulateurs en matière de sûreté nucléaire
FAVL : Faible Activité, Vie Longue
FI : Faiblement Irradiants
FMA-VC : Faible et Moyenne Activité, Vie Courte
FNE : France Nature Environnement
GESI : Groupement français des industries Electroniques de Sécurité Incendie
GIP : Groupement d'Intérêt Public
GIP Sources HA : Groupement d'Intérêt Public relatif aux sources radioactives scellées de haute activité

GSIENT : Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucléaire
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
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
MAVL : Moyenne Activité, Vie Longue
MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
MES : Matières En Suspension
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, Energie, Environnement, Déchets, Société
OCDE : Organisation de coopération et de développement économique
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
OPE : Observatoire Pérenne de l'Environnement
OPECST : Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
PACEN : Programme sur l'Aval du Cycle et l'Energie Nucléaire
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
RFS : Règle Fondamentale de Sûreté
RGIE Réglementation Générale des Industries Extractives
RNR (déchets) : déchets à Radioactivité Naturelle Renforcée
RNR (réacteurs) : Réacteur à Neutrons Rapides
RSB : Résidus solides banalisés
SCI : Stockage sous Couverture Intacte
SCR : Stockage sous Couverture Remaniée
SHS : Sciences Humaines et Sociales
SIDT : Schéma Interdépartemental de Développement du Territoire
Sv : Sievert
TFA : Très Faible Activité
tML : tonne de métal lourd
Uapp : Uranium appauvri
UNGG : Uranium Naturel Graphite Gaz
UOX : Combustible à base d'oxyde d'uranium
URE : Uranium de Retraitement Enrichi
URT : Uranium de Retraitement
WISE-Paris : World information service on energy
ZIRA : Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie
ZPP : Zone de Protection des Populations
ZPS : Zone de Surveillance renforcée des Territoires

Annexes

Sommaire des annexes

Annexe 1 : Etudes sur la préservation de la mémoire.....	176
Annexe 2 : Synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers	178
1 Synthèse des réalisations à l'étranger	178
1.1 Elaboration d'un cadre légal	178
1.2 Classification des déchets.....	181
2 Filières de gestion existantes ou en cours de réalisation.....	182
2.1 Choix du type de cycle du combustible	182
2.2 Activités de démantèlement.....	183
2.3 Gestion des déchets FMA et FAVL.....	183
2.4 Gestion des déchets HA	184
3 Les recherches en soutien au stockage géologique.....	185
3.1 L'organisation de la recherche.....	185
3.2 Le laboratoire souterrain, préalable ou non au projet de stockage	186
3.3 Les recherches coordonnées en Europe.....	187
3.4 OCDE-AEN.....	190
Annexe 3 : Analyse de l'adéquation entre les capacités d'entreposage et les volumes prospectifs de déchets radioactifs.....	191
Annexe 4 : Volet recherche	199
1 Introduction, acteurs et grands jalons structurant la recherche menée dans le cadre du PNGMDR.....	199
2 Améliorer la connaissance et travailler en amont sur le conditionnement des déchets et le comportement des colis.....	200
2.1 Déchets de graphite : scénarios de gestion et traitement	200
2.2 Déchets MAVL	201
2.3 Les combustibles usés	203
2.4 Les déchets vitrifiés.....	204
2.5 Les déchets des réacteurs de 4 ^{ème} génération.....	205

3	Accompagner les projets de stockage pour les déchets HA-MAVL et de type FAVL et l'entreposage.....	206
3.1	Le stockage pour les déchets de faible activité et à vie longue.....	206
3.2	Le stockage réversible en couche géologique profonde pour les déchets de haute activité, de moyenne activité et à vie longue et le projet Cigéo.....	206
3.3	Les apports à la connaissance phénoménologique du stockage.....	209
3.4	Perspectives scientifiques.....	211
3.5	Recherches sur l'entreposage.....	212
4	Poursuivre les recherches en separation Transmutation	213
4.1	Objet et enjeu des recherches :	213
4.2	La séparation des actinides mineurs	214
4.3	La fabrication de combustibles porteurs d'actinides mineurs	215
4.4	Les irradiations expérimentales	215
4.5	Les études de scénarios	216
4.6	La recherche amont	216
5	Mener des recherches en support à l'expertise de sûreté des projets de stockage.....	216
6	Mieux Appréhender la dimension sociétale de la gestion des déchets	218
	Annexe 5 : concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture.....	222
1	Concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.....	222
1.1	Centre de Stockage des déchets de Très Faible Activité	222
2	Concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture des Installations Nucléaire de Base	223
2.1	Le centre de stockage de la Manche.....	223
2.2	Le centre de stockage de l'Aube	224
2.3	Le stockage Cigéo en projet.....	225
2.4	Projet de stockage des déchets de faible activité à vie longue	227
	Annexe 6 : Accords intergouvernementaux conclus par la France en matière de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs (accords en vigueur, énumérés dans l'ordre chronologique).....	228
1	Accords en vigueur, énumérés dans l'ordre chronologique.....	228
2	Accord en cours de processus de mise en vigueur.....	229

Annexe 1 : études sur la préservation de la mémoire

Le projet mémoire lancé en 2010 par l'Andra 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 (SHS).

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 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 du projet de stockage Cigéo, d'abord le débat public en 2013, pour lequel l'Andra devra apporter les éléments nécessaires pour alimenter un débat impliquant de manière large les parties prenantes, puis la demande d'autorisation de création en 2015. Il se prolongera pour accompagner le développement du stockage et sa fermeture progressive.

Annexe 2 : Synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers

1 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.

1.1 Elaboration 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 Belgique, l'Ondraf a publié en 2011 un Plan national des déchets de haute activité qui établit différentes pistes de gestion à long terme, analyse leurs incidences environnementales et les soumet à l'avis du public.

Les États-Unis ont annoncé leur intention de conduire une nouvelle démarche, après la décision en 2009 d'abandon du stockage des déchets de haute activité et des combustibles usés envisagé à Yucca Mountain. La Blue Ribbon, Commission instaurée pour réexaminer la stratégie de gestion des combustibles usés et des déchets HA propose des plans qui fonderont les futures actions du gouvernement.

Le Royaume-Uni, a publié en 2006 un Livre Blanc intitulé *Managing Radioactive Waste Safely - proposals for developing a policy for managing radioactive waste in the UK*, qui annonce un plan et une organisation pour la gestion des déchets.

L'Espagne publie périodiquement et depuis déjà plusieurs années un Plan général des déchets radioactifs destiné à être révisé régulièrement. Il énonce principalement des directives institutionnelles d'ensemble.

En matière d'inventaire, les pratiques sont diverses, notamment en ce qui concerne son périmètre (la spécificité française sur les TFA, l'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 une base de données commune à l'ensemble des pays, mais avec une approche relativement globale et de très grandes catégories), 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.

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. A 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'Etat 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-dessous :

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	KRMC	Korea Radioactive Waste Management Corporation	public	2009	
Espagne	ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.	public	1984	

Pays	Organisme		Statut	Date de création	Remarques
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 Radio- actief 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 <i>Organismes en charge des déchets radioactifs</i> <i>* CU combustibles usés</i>	privé/public	1972	

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.

A noter que l'ensemble des pays mentionnés ici (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 2012.

Il convient de souligner que 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 Etats 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 harmonisera 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 mi-2015.

1.2 Classification des déchets

1.2.1 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, et HA + 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 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 : Etats-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.

1.2.2 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 complètement exhaustif : il ne couvrait pas tous les types de déchets radioactifs ; il ne fournissait pas non plus un lien direct avec les options de stockage et de gestion pour tous les types de déchets radioactifs. Ces aspects 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 (Hight 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.

2 FILIERES DE GESTION EXISTANTES OU EN COURS DE REALISATION

2.1 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'essai, 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).

2.2 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.

2.3 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 m³ 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 2016 n'acceptera que des déchets FMA à vie courte. Parmi les autres projets en cours de réalisation ou à venir, citons les stockages géologiques prévus vers 2017 au Canada à Kincardine par 700 m de profondeur près du réacteur de Bruce (Ontario) et en Allemagne à partir de 2014 pour les déchets FMA dans l'ancienne mine de fer de Konrad à Salzgitter aux alentours de 1000 m de profondeur.

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 ou au Royaume-Uni pour le site de Dounray sur lequel il est envisagé de construire un entreposage.

Concernant plus spécifiquement les déchets FAVL, 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 : les déchets de radium proviennent du traitement de 50% des sources de radium utilisées dans le monde, et sont actuellement entreposés sur le site de Olen. 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 Etats-Unis, en Russie et en Ukraine qui possèdent tous des déchets de type graphite.

2.4 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) et abordent la phase de demande d'autorisation de construction. 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 débuter en 2015 et se poursuivre jusqu'au commencement des années 2020.

Aux Etats-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 et l'instruction de la demande d'autorisation de création est suspendue.

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 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.

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 ; néanmoins le processus est bloqué à sa phase 1 depuis juillet 2007 en raison de l'absence de candidatures ; une nouvelle campagne d'information a été engagée en 2009 en préparation du lancement d'un nouveau dispositif d'appel à candidatures. L'Allemagne et la Chine ont fixé des objectifs de début d'exploitation de centre de stockage géologique, respectivement au-delà de 2030 et 2040. Après l'expiration en 2010 du moratoire concernant le stockage de Gorleben, le travail d'exploration souterraine du dôme de sel a repris. En parallèle une analyse de sûreté préliminaire de cette formation est en cours de réalisation. Les résultats devraient en être publiés en 2012. La

conformité de Gorleben avec les normes internationales de sûreté les plus récentes sera examinée par un groupe d'experts internationaux en 2013.

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 ni au Canada (dans ces deux pays un processus progressif associant les parties prenantes a été mis en place). Au Royaume-Uni, le gouvernement a demandé à la NDA (Nuclear Decommissioning Authority) d'étudier la possibilité d'accélérer 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. En Espagne la réalisation d'un stockage des combustibles usés, déchets de haute activité et déchets de moyenne activité ne pouvant être stockés à El Cabril, est programmé pour un démarrage à partir de 2050. Le site de Villar de Cañas (situé dans la province du Cuenca à environ 130 km au Sud Est de Madrid) a toutefois été choisi en 2011 pour accueillir le futur centre d'entreposage de combustibles usés et de déchets de haute activité. La politique de gestion des déchets radioactifs devrait être précisée dans le prochain et septième Plan général des déchets radioactifs.

3 LES RECHERCHES EN SOUTIEN AU STOCKAGE GEOLOGIQUE

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 Européen l'a réaffirmé dans la récente 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 Etats-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.

3.1 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. A JAEA, s'ajoute le CRIEPI, financé par les électriciens et RWMC, financé par le METI.

3.2 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 MAVL), par une grande variété de statuts du laboratoire de recherche souterrain que ce soit en termes de propriété ou d'objectif (méthodologie¹ 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.

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 levés 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, homologue 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.

¹ 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.

- 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 quarantaine étaient encore en cours en 2012. 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 460 m, sur les 1 000 m prévus, a été atteinte en 2011. 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 250 m sur les 500 m prévus était atteinte en 2011.

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 fait actuellement l'objet de travaux de reconnaissance. Cette phase devrait durer sept ans selon l'Office fédéral de protection radiologique allemand (BfS) en charge du lieu.

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, 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.

3.3 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.).

3.3.1 Les projets en cours

Le tableau ci-après présente les différents projets et recherches en cours dans le cadre Euratom dont la portée concerne les développements en matière de gestion des déchets radioactifs.

Projet	Sujet	Période	Leader
ReCoSy	Etude des phénomènes Redox et de leur influence sur la rétention et le transport des radionucléides	7 ^{me} PCRD 2008-2012	FZK (D)
CARBO-WASTE	Traitement et stockage du graphite irradié et des autres déchets carbonés	7 ^{me} PCRD 2008-2012	FZH (D)
PETRUS II	Coordination des actions d'enseignement et de formation au niveau européen	7 ^{me} PCRD 2009-2011	INPL (F)
MODERN	Développement et mise en œuvre des techniques de contrôle et de surveillance des stockages	7 ^{me} PCRD 2009-2013	Andra (F)
FORGE	Evaluation de l'impact des gaz dans les stockages de déchets radioactifs	7 ^{me} PCRD 2009-2013	NERC (UK)
IGDTP	Plateforme Technologique (suite de CARD) visant la coordination des moyens et actions dans le domaine des projets stockages géologiques	7 ^{me} PCRD 2009-2012	SKB (S)
CATCLAY	Etude des processus de migration des cations dans les roches argileuses	7 ^{me} PCRD 2010-2014	CEA (F)
PEBS	Performance à long-terme des systèmes de barrières ouvragées	7 ^{me} PCRD 2010-2014	BGR (D)
SKIN	Processus à cinétique très lente dans les interactions fluides - roche	7 ^{me} PCRD 2011 - 2015	EM-Nantes (F)
LUCOEX	Expérimentations dans 3 laboratoires souterrains visant à tester et confirmer les choix conceptuels retenus.	7 ^{me} PCRD 2011 - 2015	SKB (S)
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 (I^{129} , Se^{79} , Cs^{135} , C^{14})	7 ^{me} PCRD 2012-2015	KIT (D)
IGDTP-2	Plateforme Technologique visant la coordination des moyens et actions dans le domaine des projets stockages géologiques	7 ^{me} PCRD 2012-2015	Andra (F)
DOPAS	Démonstration à l'échelle 1 de la réalisation et de la performance d'ouvrages de scellement	7 ^{me} PCRD 2012-2015	Posiva (Fin)
OFSeSa	Novel and Reliable Optical Fibre Sensor Systems for Future Security and Safety Applications	Action COST ² 2010-2014	36 Etats membres européens

Projets et recherches en cours relatifs à la gestion des déchets radioactifs dans le cadre Euratom

² <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid55959/le-programme-europeen-cost.html>

3.3.2 La plate-forme IGD-TP — Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform

La plateforme technologique IGD-TP a été mise en place en 2009 avec l'objectif de mieux cibler les programmes de recherches, développements et démonstrations (RD&D) et d'assurer une meilleure coordination des recherches entre Etats Membres. A cette fin, la plateforme IGD-TP est pilotée par les organismes chargés des projets de stockage géologique dans les pays européens mais réunit aussi les organismes de recherches, les bureaux d'études, les organismes en soutien technique des autorités de sûreté ainsi que l'ensemble des acteurs intéressés ou impliqués dans les programmes de recherches. Sa mission consiste à renforcer la confiance dans la sûreté et la mise en œuvre de solutions de stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. IGD-TP n'est pas seulement utile à la réalisation des premières installations, mais elle l'est aussi aux programmes de gestion de déchets avec des délais contraints. La plupart des pays nucléarisés ont développé des programmes de gestion de déchets radioactifs, mais l'avancement des programmes, les délais de leur mise en œuvre et les enjeux diffèrent.

La vision d'IGD-TP exprime qu'en 2025, l'Europe sera dotée des premières installations de stockage géologique de combustibles usés, de déchets hautement radioactifs, et à vie longue, gérés de manière sûre sur le long terme.

L'engagement des membres de la plateforme consiste à :

- renforcer la confiance dans la sûreté des solutions de stockage en couches géologiques parmi les citoyens européens et les décideurs
- encourager l'établissement de programmes de gestion des déchets qui intègrent le stockage géologique comme option acceptée pour la sûreté à long terme de gestion de la longue durée et / ou déchets de haute activité
- faciliter l'accès à l'expertise et la technologie de maintenir les compétences dans le domaine du stockage géologique pour le bénéfice des Etats membres.

IGD-TP a publié en 2011 un programme, appelé « Strategic Research Agenda », qui définit les priorités de la Recherche (RD&D) en vue de l'obtention d'autorisation et de la réalisation des stockages. La mise en œuvre de ce programme prévoit un financement inscrit dans le 7^{ème} programme-cadre de recherche et de développement technologique - 7^{ème} PCRD.

Les sujets principaux de l'IGD-TP concernent :

- l'étude de sûreté ;
- les conditionnements de déchets et leur comportement ;
- la faisabilité technique et la performance à long terme des composants du stockage ;
- la stratégie de développement du stockage ;
- la sûreté de construction et d'exploitation du stockage ;
- les mesures et surveillance ;
- la gouvernance et implication des parties prenantes.

Plusieurs sujets transverses sont traités concernant le dialogue avec l'autorité de sûreté, les compétences des personnes, la gestion de la connaissance, et les sujets liés à la communication et l'information. En complément plusieurs dizaines de questions seront étudiées allant de la surveillance des stockages jusqu'aux méthodes d'évaluation de performance. L'ensemble des sujets retenus seront agrégés dans des programmes dont les objectifs seront attachés à « l'Horizon 2020 » établi en relation avec le 8^{ème} Programme Cadre Européen.

3.4 OCDE-AEN

La vocation de l'Agence pour l'Energie 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...

Annexe 3 : Analyse de l'adéquation entre les capacités d'entreposage et les volumes prospectifs de déchets radioactifs

Les capacités d'entreposage disponibles pour les colis de déchets conditionnés sont situées sur des sites de production (essentiellement La Hague, Marcoule et Cadarache pour les déchets HA et MAVL). Chaque installation d'entreposage accueille généralement une ou quelques familles de déchets. Certaines capacités peuvent être partagées entre les filières HA et MAVL, MAVL et FAVL ou encore MAVL et FMA-VC.

L'entreposage des colis de déchets HA-MAVL vitrifiés de La Hague

Les colis standard de déchets vitrifiés (colis CSD-V et CSD-B) produits dans les ateliers R7 et T7 des usines de traitement de combustibles usés UP2-800 et UP3 de La Hague, sont placés successivement dans des entrepôts attenants à ces installations, puis sur l'Extension des Entreposages des Verres – Sud - Est (E-EV-SE), lorsque leur puissance thermique devient inférieure à 2 000 watts. Les ateliers R7 et T7 ont été mis en service respectivement en 1989 et 1992 pour une durée d'exploitation prévisionnelle de 50 ans. L'entreposage E-EV-SE est opérationnel depuis 1996 pour une durée prévisionnelle d'exploitation de 70 ans.

Les trois installations d'entreposage : R7, T7 et E-EV-SE, ont une capacité cumulée 12 420 colis qui sera saturée vers 2013. AREVA a entrepris en 2006 l'étude et la réalisation d'une extension d'E-EV-SE (dénommée E-EV-LH) dont la mise en service est prévue en 2013 et qui permettra l'entreposage d'environ 8 420 colis supplémentaires.

A fin 2010, 10 943 colis CSD-V et CSD-B, étaient entreposés dans les trois installations, dont 640 colis CSD-V, entreposés dans E-EV-SE, en attente d'expédition vers les installations des clients étrangers d'AREVA.

En 2015, la production cumulée des déchets vitrifiés relevant de la part française atteindra un volume de 2 560 m³. La production annuelle de colis de déchets vitrifiés de l'ordre de 800 colis (140 m³) jusqu'en 2027, sera portée à 1 180 colis (210 m³) à l'horizon 2030, avec le début du traitement en dilution dans les combustibles UOX et URE, des 2 900 tML³ de combustibles MOX qui auront été accumulés à cette date.

D'autres capacités similaires seront nécessaires à partir de 2017 et une nouvelle extension de l'E-EV-SE est notamment envisagée (voir chapitre 3.3.3.2). La production durera jusqu'à la vitrification des effluents de rinçage qui seront générés après la cessation définitive d'exploitation des usines UP2-800 et UP3, envisagée en 2040.

L'entreposage des déchets de structure compactés de La Hague

Depuis 2002, les déchets de structure (coques et embouts) des assemblages des combustibles provenant des ateliers de cisailage R1 et T1 des usines UP2-800 et UP3 sont compactés avec des déchets technologiques métalliques dans l'Atelier de Compactage des Coques (ACC) qui produit des colis standard de déchets compactés CSD-C (filière MAVL). Il est prévu que la production des colis CSD-C continue au delà de 2040 pour accompagner le démantèlement des usines UP2-800 et UP3.

³ Métal lourd (tML) : il s'agit de la quantité, exprimée en tonne, d'uranium et de plutonium contenus dans le combustible avant irradiation.

Sur le site de La Hague, les colis CSD-C sont placés dans l'installation d'entreposage des coques compactées (ECC), d'une capacité de 20 800 colis, qui a été mise en service en 2002 en même temps que l'ACC, pour une durée d'exploitation prévisionnelle de 50 ans. Les colis produits en application de contrats avec des pays tiers sont également entreposés dans ECC.

En 2015, la production cumulée des colis de déchets de structure et technologiques compactés relevant de la part française, atteindra un volume de 2 300 m³ environ et en 2020 un volume d'environ 3 100 m³. ECC a une capacité de 20 800 colis, soit environ 3 800 m³, suffisante à cette échéance, pour accueillir les colis CSD-C relevant des parts française et étrangères. Sa conception est modulaire avec une réserve foncière qui permettrait, si nécessaire, de construire jusqu'à six modules équivalents au module existant. Une extension pourrait être nécessaire au cours de la période 2020-2025. L'extension de l'installation ECC devra être étudiée au regard des volumes de CSD-C produits par le traitement des UOX, MOX et URE, ainsi que de la date de mise en stockage des colis.

L'entreposage des colis de boues et des déchets technologiques métalliques et organiques contaminés alpha de La Hague

La station de traitement des effluents STE3 traite depuis 1989 les effluents liquides des usines de La Hague. Les boues sont enrobées dans du bitume et placées dans des fûts acier inox de 238 litres. A fin 2010, 11 278 colis de ce type ont été produits (soit environ 2 500 m³). Ils sont entreposés dans les halls d'une capacité de 20 000 colis (environ 4 500 m³) du bâtiment S de la station STE3, qui a été mis en service en 1987 pour une exploitation prévue jusqu'en 2040.

Jusqu'en 2020, la station STE3 sera utilisée pour le conditionnement de la première partie des effluents de rinçage issus du démantèlement de l'usine UP2-400. La station STE3 a également engagé le bitumage des boues produites de 1966 à 1991 par la station STE2 de l'usine UP2-400, mais la production a été interdite en 2008 et AREVA étudie un conditionnement alternatif.

Par ailleurs, AREVA étudie la définition d'un mode de conditionnement des déchets technologiques alpha (contaminés essentiellement par du plutonium) provenant des usines de La Hague et de MELOX. La production de ces colis de déchets est prévue jusqu'au démantèlement des usines, au-delà de 2040.

Les unités de Désentreposage et d'Extension de l'Entreposage des fûts de Bitume (D/E EB), construits en 1995, ont la capacité (environ 11 200 m³) d'accueillir les colis précités, dont le volume en 2030 est estimé à environ 9 500 m³. Selon les quantités de colis effectivement produites, un réarrangement de ces entreposages sera à prévoir à l'horizon 2017 pour accueillir l'ensemble des colis de déchets technologiques alpha.

Les colis de boues et de déchets technologiques alpha conditionnés à la Hague ne généreront donc pas de besoin de capacité d'entreposage complémentaire avant 2030. Toutefois, les colis de déchets alpha devraient probablement être entreposés plus longtemps, en attente de la décroissance de leur production d'hydrogène de radiolyse.

L'entreposage des colis de déchets solides d'exploitation, de déchets pulvérulents et de coques et embouts cimentés de La Hague

Depuis 1990, les déchets solides : gants, tenues, outillages, pièces issues de l'exploitation et de la maintenance courante dans les usines UP2-800, UP3 ou du démantèlement de l'usine UP2-400 sont cimentés sur l'atelier AD2, à l'origine dans des conteneurs en amiante ciment (CAC) et depuis 1994 dans des conteneurs béton - fibres (CBF-C2). Ces colis sont placés dans les installations d'entreposage de déchets solides : EDS/ADT2 et EDS/EDT - EDC (entreposage des déchets technologiques et entreposage des coques) ; ils sont rattachés aux filières MAVL et FMA-VC. Le flux de colis FMA-VC en transit dans ces installations occupe un volume variable de l'ordre de quelques centaines de mètres-cubes. Dans l'installation EDS/EDC sont également entreposés les fûts en acier inoxydable contenant les coques et les embouts cimentés (MAVL) produits jusqu'en 1995. A l'avenir y seront aussi entreposés des fûts en acier inox ECE dans lesquels seront cimentés des déchets pulvérulents : éléments d'épuration et de filtration des eaux des piscines et fines de dissolution ou de dégainage des combustibles usés des réacteurs de la filière uranium naturel, graphite, gaz qui sont en attente de conditionnement, sur les installations de l'usine UP2-400 en démantèlement.

Les installations d'entreposage de déchets solides ont une capacité totale de 14 330 m³. Il est prévu que leur exploitation dure jusqu'en 2040. Cette capacité apparaît suffisante jusqu'à cet horizon pour accueillir une prévision de production qui fera passer le volume de colis MAVL de 9 012 m³ en 2009, à environ 11 100 m³ en 2030.

L'entreposage des colis de déchets vitrifiés HA-MAVL de Marcoule

L'atelier de vitrification de Marcoule (AVM) est doté d'une installation d'entreposage. Les colis de déchets vitrifiés : produits de fission et actinides mineurs de la production passée (filiale HA) et effluents des rinçages des circuits de l'usine UP1 en cessation définitive d'exploitation (filiale MAVL) y sont entreposés avec des colis de déchets technologiques d'exploitation de l'AVM (filiale MAVL) auxquels pourraient s'ajouter des colis de déchets vitrifiés produits en très faible nombre (de l'ordre de cinq colis, soit environ 1 m³) dans les laboratoires d'Atalante.

La capacité⁴ de l'entrepôt de l'AVM (665 m³) devrait être suffisante pour accueillir l'ensemble des productions prévues à Marcoule.

Une interface d'expédition vers le centre de stockage des colis entreposés devra être développée par le CEA. Une identification des options techniques et une première analyse des modalités de transport seront effectuées par le CEA en concertation avec l'Andra, notamment en vue de la présentation de scénarios entreposage-transport-stockage au débat public sur le projet de centre de stockage Cigéo prévu pour 2013.

L'atelier pilote de vitrification de Marcoule, PIVER, a produit une petite quantité de colis de déchets vitrifiés (filiale HA) d'un volume total de 17 m³ qui sont actuellement entreposés dans le bâtiment 213, spécialement aménagé dans l'atelier pilote de Marcoule (APM) mis en service en 1969 et dont l'extension de la durée d'exploitation est à l'étude.

⁴ La capacité indiquée correspond au volume unitaire de 175 litres par conteneur considéré dans l'édition 2012 de l'Inventaire national.

Les réexamens de sûreté, complétés par les études complémentaires de sûreté, ont montré la nécessité de s'interroger sur la durée de vie des entreposages de ce type de déchets en regard des chroniques de remplissage du projet de stockage Cigéo.

L'entreposage des colis de boues bitumées et de déchets solides sur le site de Marcoule

Depuis 1966, la station de traitement des effluents liquides de Marcoule, STEL, a produit des colis de boues enrobées dans du bitume puis conditionnées dans des fûts en acier de 230 litres. De 1966 à 1996, les fûts, en acier non allié, étaient entreposés dans les 35 fosses de la zone Nord du site (6 000 fûts environ) puis dans les casemates numérotées de 1 à 13 de la zone Sud (environ 54 000 fûts auxquels se rajoutent les 2 200 fûts produits depuis 1996 et entreposés en casemate 14).

Une opération de reprise et de reconditionnement de ces fûts anciens a été engagée. De 2000 à 2006, tous les fûts des fosses de la zone Nord classés très majoritairement FAVL ont été retirés, contrôlés et placés en sur-fûts en acier inoxydable de 380 litres. La reprise se poursuit avec les fûts anciens des casemates 1 à 2 de la zone Sud. En parallèle, pour répondre aux demandes de l'ASND, la reprise des fûts de relargage (fûts de procédé d'enrobage de type FMA-VC, entreposés en mélange avec les fûts d'enrobé bitume dans les casemates 1 à 10) considérés comme représentant la majorité du terme source mobilisable, est mise en œuvre.

Actuellement la STEL de Marcoule continue de produire des colis de boues bitumées. Depuis 1996, le conditionnement est effectué dans des fûts en acier inoxydable de 230 litres. Ces colis, qui sont rattachés aux filières FMA-VC et MAVL sont entreposés dans la casemate 14 qui a été mise en exploitation en 1994 avec une capacité de 1 200 m³ environ. L'arrêt d'exploitation de l'atelier d'enrobage est prévu en 2014.

La reprise et le conditionnement des déchets ci-après sont envisagés à l'horizon 2017-2020 :

- déchets de structure métalliques non magnésiens des combustibles traités sur l'usine UP1, et déchets de structure du réacteur à neutrons rapides PHENIX ;
- déchets pulvérulents, filtres, graphite pulvérulent du dégainage des combustibles de la filière UNGG, boues de décantation et déchets solides métalliques et partiellement organiques d'exploitation et de maintenance des ateliers ou de démantèlement avec spectre bêta – gamma ;
- déchets de structure magnésiens des combustibles UNGG.

Les boues issues du traitement des effluents liquides à la STEL seront enrobées dans une matrice cimentaire qui remplacera le bitumage en 2015 (projet STEMA). Les colis de déchets constitués (fûts de 380 litres) de type FMA-VC en grande majorité, seront conditionnés sur le centre avant expédition au centre de stockage FMA. Les éventuels colis MAVL seront gérés comme les colis issus du traitement des déchets pulvérulents.

Une installation d'entreposage intermédiaire polyvalent EIP a été mise en exploitation en 2000 pour l'entreposage de colis en fûts de 380 litres (appelé fûts EIP). Elle est de conception modulaire et comporte actuellement deux alvéoles⁵. La durée d'exploitation aujourd'hui prévue est de 50 ans.

⁵ Son extension peut être envisagée, jusqu'à 16 alvéoles pour porter la capacité totale à 33 880 m³.

Les colis actuellement entreposés dans l'EIP sont les fûts de boues bitumées produites par la STEL avant 1996, retirés des fosses de la zone nord et des casemates 1 et 2, et reconditionnés en fûts de 380 litres. Ils représentent un volume⁶ de 2 660 m³ (8 000 colis environ).

La poursuite de la reprise des déchets des casemates et leur mise en fûts de 380 litres conduira une saturation de la capacité actuelle de l'EIP à l'horizon 2017, avec un volume de 4 370 m³, soit 11 500 colis (rattachés aux filières MAVL et FAVL). L'opportunité de mise en place de capacités complémentaires d'entreposage, en lien avec les opérations de reprise des colis anciens, est à l'étude par le CEA.

L'entreposage de colis de déchets MAVL hautement irradiants sur le site de Marcoule

Les opérations de reprise et conditionnement de déchets anciens et de démantèlement génèreront des colis de déchets MAVL hautement irradiants pour lesquels il n'existe pas d'installation d'entreposage. Pour le site de Marcoule, les volumes de cette catégorie de déchets produits par le démantèlement du réacteur PHENIX (déchets les plus activés) ainsi que par la reprise des déchets de structure de combustibles traités dans l'atelier pilote de Marcoule (APM) sont évalués à 250 m³ environ. Pour répondre à ce besoin, le CEA a prévu de créer l'installation DIADEM, dont la mise en service est envisagée en 2017, sous réserve de son autorisation (voir §3.3.3.2). De plus, cette nouvelle installation permettra l'entreposage de déchets hautement irradiants en provenance d'autres sites du CEA (Fontenay-aux-Roses, Saclay, Grenoble).

L'entreposage des colis de déchets MAVL faiblement irradiants sur le site de Cadarache

La station de traitement des effluents (STE) de l'INB 37 conditionne, depuis 1970, les boues de filtration et les concentrats d'évaporation du centre, par cimentation dans des conteneurs métalliques de 225 litres, eux-mêmes placés dans des coques béton de 500 litres (avec ou sans blocage). Episodiquement le conditionnement de concentrats a été réalisé en fûts de 700 litres, qui ont été reconditionnés en conteneur en acier non allié de 1 100 litres.

Les déchets solides MAVL faiblement irradiants d'exploitation ou de démantèlement, provenant essentiellement des sites de Saclay, Fontenay-aux-Roses, Cadarache, Valduc et Grenoble sont conditionnés à la station de traitement des déchets solides de l'INB 37 (déchets compactables) ou à l'ICPE 312 (déchets non compactables). Les déchets primaires sont conditionnés par compactage et/ou blocage en conteneurs métalliques de 870 litres. A partir de 2013, ce type de conditionnement sera utilisé pour des déchets solides de démantèlement à spectre alpha, provenant de Marcoule.

L'inventaire à fin 2011 est de 5 014 colis 870 L et de 4 309 coques béton 500 L. L'inventaire prévisionnel en 2030 est d'environ 6 360 colis 870 L et de 4 870 coques béton 500 L.

Jusqu'en 2006, les colis MAVL étaient placés pour entreposage dans l'INB 56, qui n'accueille plus aujourd'hui de nouveaux colis MAVL. En 2006, le CEA a mis en service à Cadarache l'installation d'entreposage de déchets radioactifs CEDRA, avec deux bâtiments (n° 374 et 375) qui offrent chacun une capacité de 7 572 colis de déchets MAVL faiblement irradiants. Le CEA a engagé le transfert des colis MAVL faiblement irradiants de l'INB 56 vers CEDRA. Au 31 décembre 2011, 737 colis ont été expédiés vers CEDRA

⁶ Les capacités et volumes sont exprimés ici pour le volume unitaire de 380 litres considéré pour un fût EIP dans l'Inventaire national. La prise en compte du volume extérieur hors tout de ce colis (441 litres) conduirait à des capacités et volumes supérieurs pour un même nombre de colis.

Fin 2011, 1369 colis 870 litres FI et 47 colis 500 litres FI étaient présents sur CEDRA. La capacité d'entreposage actuelle de 7572 colis pour les déchets MAVL faiblement irradiants ne suffira pas à gérer l'ensemble des colis à retirer de l'INB 56 et à produire sur les centres du CEA. En effet le nombre cumulé de colis MAVL FI à l'horizon 2030 est estimé à 11 230. Aussi le CEA envisage de porter la capacité d'entreposage des déchets MAVL de CEDRA à 11 358 colis FI, par la construction de la tranche 3. Il est à noter que le taux de remplissage de l'installation CEDRA dépend fortement des programmes de reprise de l'INB 56.

L'entreposage des colis de déchets MAVL moyennement irradiants sur le site de Cadarache

Les déchets solides d'exploitation ou de démantèlement, provenant des différents sites du CEA relevant de la catégorie MAVL et moyennement irradiants, sont conditionnés depuis 1970 sur l'INB 37 par compactage puis blocage dans un conteneur en acier de 500 litres. Jusqu'en 2006, les colis étaient placés dans des fosses d'entreposage de l'INB 56. Le CEA a engagé le transfert d'une partie de ces colis vers CEDRA : à fin 2011, le CEA avait procédé au désentreposage de 183 colis récents produits sous assurance qualité de la fosse F6 de l'INB56 vers CEDRA. La reprise des colis inox récents de la fosse F6 à fin 2015 constitue un objectif prioritaire de sûreté du CEA.

Depuis sa mise en exploitation en 2006, l'installation CEDRA comporte le bâtiment n°376, d'une capacité utile de 1 400 colis, pour l'entreposage en puits des colis MAVL produits ou désentreposés de l'INB 56.

A fin 2011, le nombre cumulé de colis de déchets MAVL moyennement irradiants entreposés sur le site de Cadarache était de 1 173 colis. Il atteindra 3 264 colis en 2030. La capacité actuelle de CEDRA (1 400 colis) ne suffira pas à répondre aux besoins. Le CEA envisage d'augmenter cette capacité : après construction de la tranche 3 de CEDRA à l'horizon 2023, elle serait portée à 2 800 colis ; une tranche 4 supplémentaire permettrait de porter la capacité totale à 4 200 colis.

L'entreposage d'autres colis de déchets sur le site de Cadarache

Des colis de sulfates de plomb radifères (issus du traitement entre 1958 et 1970 d'un minerai d'urano-thorianite), des déchets solides et boues de filtration en conteneurs de grandes dimensions (1 800 ou 1 000 litres) et des « blocs sources » sont entreposés actuellement dans l'INB 56. Il s'agit de productions achevées qui représentent un volume de 1 275 m³ environ.

L'entreposage des colis de déchets MAVL sur le site du CEA de Valduc

Des colis de boues et de concentrats bloqués en fûts métalliques de 220 litres produits autrefois de 1984 à 1995 par la station de traitement des effluents liquides de Valduc sont entreposés sur le site de Valduc. Ces déchets relèvent d'une filière MAVL et seront entreposés sur CEDRA dans l'attente de la mise en service du projet de stockage Cigéo. Les transferts de ces colis de déchets sont en cours.

Le traitement de matières recyclables produit des effluents contenant de l'américium, du plutonium et de l'uranium que le CEA projette de vitrifier à l'horizon 2020. Ces colis MAVL

seront entreposés sur le site de Valduc. En 2030 le volume total de déchets conditionnés atteindra de l'ordre d'une vingtaine de m³.

L'entreposage des colis de déchets activés d'EDF sur le site de la centrale du Bugey

L'installation ICEDA, située sur le site du Bugey, autorisée par décret n°2010-402 du 23 avril 2010, est destinée à recevoir les déchets activés produits par le démantèlement des réacteurs d'EDF de Creys-Malville, Brennilis, Chooz A, Bugey 1, Saint-Laurent-des-eaux A1 et A2 et Chinon A1, A2 et A3 ainsi que les internes retirés des réacteurs électronucléaires en exploitation (grappes de commande et grappes poison). Cette installation devrait également accueillir en transit de courte durée (quelques mois avant envoi vers leurs stockages) des déchets métalliques et graphite issus du démantèlement de Bugey 1 destinés respectivement aux filières FMA-VC et FAVL.

La mise en service de cette installation, envisagée en 2015, est remise en cause par l'annulation du permis de construire prononcée le 6 janvier 2012 par le tribunal administratif.

EDF retient l'hypothèse d'un conditionnement en conteneurs en béton armé « C1PG » pour les déchets activés des filières MAVL ou FMA-VC.

L'installation ICEDA serait constituée de deux halls d'entreposage d'une capacité unitaire de 1 000 colis de déchets, soit environ de 2 000 m³ de colis de déchets par hall.

L'entreposage de déchets radioactifs radifères

Rhodia entrepose sur son site de la Rochelle différents types de déchets radioactifs, issus du traitement de la monazite, puis, à partir de 1994, du traitement des concentrés de terres rares. Le site est autorisé en tant qu'installation classée pour la protection de l'environnement. Rhodia possède environ 13 700 t de déchets, sous forme de :

- résidus radifères, dits RRA (environ 1850 Bq/g en activité alpha et bêta à la date de 2002) : 160 t à la Rochelle, la majorité des RRA étant entreposée à Cadarache (5120 t) ;
- résidus solides banalisés, dits RSB (environ 75 Bq/g) : 8400 t à la Rochelle.

Ces déchets, qualifiés de faible activité à vie longue font partie de l'inventaire des déchets destinés au projet de stockage de déchets radifères de l'Andra.

Les déchets RRA sont entreposés sur le site de Cadarache (ICPE 420 et 465) et les déchets RSB sur le site de Rhodia à la Rochelle, dans un bâtiment (BAT. 135).

Cépus sur le site de Jarrie entrepose des déchets radifères issus du traitement de zirconium. Ils sont dans un bâtiment dédié composé de six alvéoles de 1 000 m² munies chacune de cuvettes de rétention pour une capacité d'entreposage de 4 500 t. La capacité d'entreposage devrait permettre de couvrir les besoins jusqu'en 2020 (2015 si les déchets sont insolubilisés auparavant).

L'entreposage de déchets radioactifs issus des petits producteurs

Dans le cadre de la gestion des déchets radioactifs issus des petits producteurs, l'Andra utilise des capacités d'entreposage sur des installations d'AREVA/SOCATRI et du CEA (INB 56) à Cadarache et à Saclay (INB 72), voire encore sur d'autres sites pour les déchets du nucléaire

diffus qui relèvent en majeure partie de la filière FAVL. Compte tenu des projets d'utilisation prévus par les exploitants de ces installations pour leurs besoins ou des perspectives de démantèlement de certaines d'entre elles, l'Andra a décidé de se doter en propre d'une installation d'entreposage.

Par arrêté du n°2012040-0002 du 09 février 2012, l'Andra a été autorisée à exploiter sur le centre de stockage des déchets TFA des installations de regroupement et d'entreposage de déchets radioactifs issus des petits producteurs. L'installation d'entreposage, prévue pour des déchets pour lesquels les filières de gestion à long terme sont en développement, a une capacité de 6 000 m³ pour une quantité collectée mi 2012 par l'Andra d'environ 700 m³. Cette installation a été mise en service en 2012. Elle permet notamment de prendre en charge les détecteurs incendie, paratonnerres, et autres sources contenant des substances radioactives, des déchets provenant de l'assainissement des sols pollués (opération radium)...

L'entreposage des déchets tritiés

Actuellement, la majeure partie des déchets tritiés sans exutoire est générée par les activités de la Défense. Ces déchets sont principalement entreposés sur le site de Valduc. Le volume de déchets entreposés en France représente de l'ordre de 4 600 m³. Certaines des installations seront saturées prochainement. De nouvelles installations sont en cours de construction.

Les déchets tritiés solides issus des petits producteurs seront entreposés sur l'installation d'entreposage des déchets tritiés d'ITER dont la mise en service est prévue à l'horizon 2024, sous réserve de son autorisation.

Les besoins en capacité d'entreposage de déchets tritiés sont présentés dans la partie 3.1.

Annexe 4 : Volet recherche

1 INTRODUCTION, ACTEURS ET GRANDS JALONS STRUCTURANT LA RECHERCHE MENEES DANS LE CADRE DU PNGMDR

La loi du 28 juin 2006 a confié la responsabilité des recherches sur la séparation-transmutation au CEA et les recherches sur le stockage réversible pour les déchets HA-MAVL et sur l'entreposage à l'Andra. Elle organise le rôle des différents acteurs de la recherche en matière de gestion des déchets radioactifs. Parallèlement, un certain nombre d'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 PNGMDR 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 rythment la stratégie des recherches. La Commission nationale d'évaluation (CNE2) évalue régulièrement les recherches menées dans le domaine et propose certaines orientations pour la stratégie à mettre en œuvre dans ses recommandations. A noter que la Commission juge favorablement l'ancrage international d'une bonne partie des recherches effectuées par l'Andra, le CEA et le CNRS. Elle a apprécié particulièrement l'importance accordée à cette dimension lors des auditions.

Afin d'assurer une cohérence entre tous ces programmes, un Comité d'Orientations et de Suivi des Recherches sur l'Aval du Cycle (le COSRAC), dont la présidence est assurée en alternance par la DGRI et la DGEC, a été mis en place. Le COSRAC, lieu unique d'échange amont entre tous les acteurs de la recherche, aide à la mise en place d'une stratégie commune des recherches relatives à la loi du 28 juin 2006.

Ce document présente un bilan des recherches sur les sujets abordés dans le précédent PNGMDR, une perspective sur les recherches à mener dans les trois années à venir. Ce document n'est pas exhaustif dans la mesure où certains sujets prospectifs débouchant sur le long terme peuvent être menés en parallèle.

Il est intéressant de rappeler les principaux jalons de la loi du 28 juin 2006 :

31 décembre 2012 au plus tard : « L'Andra remet aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement le dossier de support à l'organisation du débat public » qui aura lieu avant le dépôt d'une demande d'autorisation de création d'un site de stockage en couche géologique profonde.

31 décembre 2012 au plus tard : le CEA remet aux ministres en charge de l'énergie, de la recherche et de l'environnement un dossier faisant un bilan des recherches sur la séparation-transmutation.

31 décembre 2014 au plus tard : « L'Andra dépose la demande d'autorisation de création » d'un site de stockage géologique profond.

2 AMELIORER LA CONNAISSANCE ET TRAVAILLER EN AMONT SUR LE CONDITIONNEMENT DES DECHETS ET LE COMPORTEMENT DES COLIS

Le producteur est responsable de la production du colis de déchets et doit en démontrer les caractéristiques via la constitution d'un dossier de connaissances, et d'un modèle opérationnel décrivant le comportement à long terme de ce colis. Le CEA, à la demande des producteurs, 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.

La démarche de vérification de la capacité des colis à remplir l'ensemble des fonctions nécessaires pour le stockage relève de la responsabilité de l'Andra, qui 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 comme le Groupement de laboratoires « Verre / Fer / Argile » pour les études sur l'altération du verre et sur la corrosion du surconteneur et pour celles concernant le comportement à long terme des colis de stockage en béton, le groupement de laboratoire « Évolution des structures cimentaires ». Le CEA et EDF participent à ces deux groupements de laboratoires.

L'ensemble des acteurs s'accorde pour insister sur la nécessité de poursuivre, pour l'ensemble des déchets concernés par le stockage, les travaux de caractérisation visant à :

- préciser les inventaires radiologiques en développant ou améliorant des moyens analytiques et expérimentaux *ad hoc* ;
- évaluer les inventaires chimiques et les termes sources des composés chimiques et gazeux ;
- améliorer la caractérisation du comportement des déchets en conditions de stockage ;
- évaluer les cinétiques de relâchement pour les déchets dont les termes sources actuellement considérés apparaissent trop conservatifs ou pénalisants (labiles).

2.1 Déchets de graphite : scénarios de gestion et traitement

La faible activité massique des déchets de graphite conduit à étudier un stockage à faible profondeur (moins de 200 mètres) mais leur contenu en radionucléides à vie longue, tel qu'il est actuellement estimé, ne permet pas d'envisager un stockage en surface. En particulier, l'activité déclarée en chlore 36 dans les déchets de graphite nécessite d'utiliser une épaisseur d'argile suffisante pour limiter les flux dans l'environnement géologique.

Une alternative pourrait être offerte par les récents développements sur les procédés de traitement des déchets de graphite. Certains de ces procédés pourraient en effet permettre de décontaminer partiellement le graphite afin de rendre son inventaire radiologique acceptable pour un stockage à faible profondeur (Stockage sous Couverture Remaniée, SCR). Les radionucléides extraits feraient alors l'objet d'un conditionnement et d'un stockage adaptés. Il serait même envisageable, sous réserve que les rendements de décontamination soient suffisants, de gazéifier le graphite décontaminé sous forme de dioxyde de carbone. Une première série d'essais de traitement thermique a été réalisée par EDF en collaboration avec la société Studsvik. Les résultats obtenus à ce stade confirment l'intérêt du traitement thermique pour décontaminer le graphite du chlore 36, du tritium et d'une partie du carbone 14.

En parallèle, des travaux sont engagés afin de préciser les inventaires radiologiques des déchets de graphite notamment grâce à des améliorations des techniques analytiques et à des échantillonnages complémentaires sur les blocs réacteurs.

Perspectives

Un axe majeur du programme de R&D sera dédié au traitement thermique. Il s'agira d'une part d'achever les essais en pilote. D'autre part, un certain nombre d'essais plus exploratoires seront réalisés notamment au CEA afin de mieux comprendre les taux de décontamination obtenus et vérifier leur validité sur différents échantillons.

La gestion des effluents de traitement et le conditionnement des déchets induits sont des points de développement essentiels quel que soit le procédé de traitement envisagé. Les résidus carbonés issus du traitement pourraient ainsi être cimentés ou compactés pour former une matrice respectant les spécifications Andra de prise en charge en stockage. Dans le cas contraire, une séparation des radionucléides serait nécessaire, suivie d'un traitement dédié pour chaque radionucléide (cimentation, précipitation, etc.). Ces actions sont formalisées au travers d'accords dédiés entre Andra, le CEA et EDF.

2.2 Déchets MAVL

2.2.1 Les boues bitumées

Au-delà de l'étude du relâchement des radionucléides, les études sur les boues bituminées ont porté sur la production de dihydrogène par radiolyse, le terme source chimique des déchets (espèces complexantes ou agressives) et le gonflement sous eau des colis de déchets.

Les producteurs ont conduit des actions de R&D, ayant permis de disposer d'outils de calcul de la production d'hydrogène de radiolyse. Les enjeux liés à la production de gaz par radiolyse portent sur la conception du colis de stockage qui doit permettre l'évacuation de gaz et sur le risque de dépassement des limites d'explosivité en alvéole en cas d'arrêt incidentel de la ventilation. La production de dihydrogène par les colis de boues bitumées reste inférieure, à 10 L/fût/an et les estimations récentes de production de dihydrogène pour les colis des stations de traitement des effluents de la Hague (STE2 et STE3) fournissent des débits de moins de 3 L/fût/an. La même conclusion s'applique pour au moins la moitié de la population de bitumes de la station de traitement des effluents liquides (STEL) de Marcoule (CEA). Le travail se poursuivra sur l'ensemble des populations d'enrobés bitume produits à Marcoule.

Le gonflement sous eau résulte d'un processus osmotique dont l'origine est le comportement du bitume qui joue le rôle d'une membrane semi perméable. Ce processus ne pourrait se produire que lors de la resaturation de l'alvéole, c'est-à-dire dans un intervalle de temps compris entre la dizaine et la centaine de milliers d'années. A cette échéance, le principal risque identifié est l'endommagement de l'argilite autour des alvéoles de stockage. Afin d'évaluer les processus d'endommagement de la roche résultant de ce phénomène, des modélisations préliminaires des conséquences mécaniques des pressions exercées lors du gonflement des bitumes ont été conduites par l'Andra. Pour affiner ces modélisations et valider les résultats associés, il conviendra de mener des expérimentations dédiées à l'acquisition des courbes pression/déformation.

L'Andra poursuit actuellement des études pour conforter la connaissance des interactions phénoménologiques complexes en champ proche des colis de bitumes. Une évaluation sera

fournie en 2013/2014, afin d'appréhender en première approche la réactivité des nitrates ainsi que les conséquences du panache de sels sur la migration des radionucléides à grande échelle. Dans l'attente des résultats, l'évaluation de sûreté à long terme est réalisée sur la base d'hypothèses enveloppes pour couvrir les incertitudes associées à ces phénomènes. Concernant les espèces complexantes, l'analyse des inventaires en TBP (tributylphosphate) permettra de statuer sur la pertinence de monter un programme de R&D dédié sur une durée de l'ordre de deux ans.

2.2.2 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 conviendra d'étudier dans quelle mesure, en situation de stockage, la radiolyse de la matière organique pourrait entraîner une production de gaz comme le dihydrogène et de gaz corrosifs. La radiolyse puis l'hydrolyse des matériaux organiques va libérer des espèces complexantes qui pourront complexer des actinides comme l'uranium et le plutonium. Il s'agira de 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 permettant de 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.

L'ensemble de ces travaux ne préjugent cependant pas d'une augmentation significative de la mobilité des complexes d'actinides au sein des argiles du Callovo-Oxfordien (COX).

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 également étudié un procédé de traitement-conditionnement par compactage, le colis S5 qui présente l'avantage de réduire le volume de conditionnement de ce type de déchets. Ce conditionnement a fait l'objet de discussions quadripartites (ASN, Andra, IRSN, AREVA). En 2009, AREVA a déposé le projet de spécification de production du colis S5 à l'ASN et le dossier de connaissances du colis à l'Andra. En février 2010, suite à l'instruction du dossier relatif à ce colis, l'ASN a demandé à Areva d'étudier d'autres scénarios de traitement-conditionnement *« considérant que le projet de colis S5 développé par Areva, dont les caractéristiques sont décrites dans le courrier du 20/01/2009 susvisé, n'apporte pas les garanties suffisantes pour un entreposage de longue durée et pour un stockage en formation géologique profonde, en raison notamment de la présence de matières organiques »*. Areva a donc engagé des études afin de trouver d'autres scénarios de traitement-conditionnement envisageables (y compris thermiques) telles que demandées par l'ASN dans l'article 1^{er} de sa décision n°2010-DC-0176 du 23 février 2010 et poursuivi les études de R&D sur le colis S5 dans le but de montrer que les garanties suffisantes pouvaient être apportées.

Areva a transmis des dossiers en avril 2010 et début 2012, comportant notamment les résultats de R&D acquis, complémentaires, qui décrivent la résistance à la corrosion du conteneur et l'effet

piégeage de l'acide chlorhydrique gazeux de radiolyse par son étui interne en acier noir, ainsi que des études sur la nature des complexants. Par ailleurs, en réponse à une prescription du PNGMDR 2010-2012, AREVA a également remis un rapport présentant les caractéristiques du colis S5, son procédé de fabrication, les résultats de la R&D décrivant les procédés thermiques et un calendrier prévisionnel de mise en œuvre pour l'ensemble de ces pistes.

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 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.

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 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.

A 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.

2.2.3 Autres déchets MAVL

Dans le Dossier 2005 relatif à la faisabilité d'un stockage géologique en couche argileuse, les modèles et données disponibles pour les déchets MAVL 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 des 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.

2.3 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 combustibles⁷ 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 UOX et MOX 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.

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 expérimentaux et de modélisation sur le comportement des combustibles UOX et MOX afin de préciser les connaissances notamment au regard de leurs comportements respectifs en conditions de stockage.

2.4 Les déchets vitrifiés

Les vitesses de dissolution initiale et résiduelle des verres (verres R7T7) 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.

L'effet de la magnétite sur l'augmentation de la cinétique d'altération du verre a été confirmé, même s'il est atténué en présence d'une barrière diffusive, mais les mécanismes sous-jacents pourraient être plus complexes que ceux considérés dans le Dossier 2005. Par ailleurs, les études confirment une évolution très faible de la fracturation du verre sous chargement mécanique en stockage.

Parallèlement, un modèle mécanistique de comportement à long terme du verre R7T7, 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.

⁷ 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.

En ce qui concerne les verres « froids »⁸ (verres UMo, PIVER et AVM), un modèle supposant une altération suivant la vitesse initiale de dissolution du verre a été développé. Dans le cas particulier de certains verres AVM un modèle du même type que celui utilisé pour les verres R7T7 a été paramétré conduisant à une estimation d'une durée de vie supérieure de un à deux ordres de grandeur.

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 atmosphériques. Ce processus est à l'origine de la vitesse mesurée ;
- 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.

2.5 Les déchets des réacteurs de 4^{ème} génération

Il s'agit de disposer des éléments de connaissance nécessaires pour préparer un déploiement progressif de réacteurs de 4^{ème} génération :

- 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 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).

⁸ Il s'agit de verres dont la charge en radionucléides est telle que le dégagement thermique est plus faible que celui des verres R7T7 produits aujourd'hui à La Hague

3 ACCOMPAGNER LES PROJETS DE STOCKAGE POUR LES DECHETS HA-MAVL ET DE TYPE FAVL ET L'ENTREPOSAGE

3.1 Le stockage pour les déchets de faible activité et à vie longue

La mise en œuvre de filières de gestion à long terme des déchets de type FAVL nécessite des actions de R&D 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.

L'implantation d'un tel stockage impliquera dans les prochaines années la recherche et la caractérisation de site et l'élaboration des éléments de démonstration à apporter en vue de la création du stockage.

Les actions de R&D sur la caractérisation et le traitement des déchets radifères visent à améliorer la connaissance du comportement en stockage, à réduire les perturbations physico-chimiques après fermeture et à réduire globalement les volumes à stocker, préservant ainsi la ressource rare que constitue la capacité de stockage.

Les actions de R&D sur la caractérisation et le traitement des déchets de graphite visent à explorer les différents procédés permettant d'atteindre des performances de décontamination élevées et la faisabilité d'une destruction totale du graphite décontaminé ainsi qu'à évaluer des procédés de conditionnement des résidus concentrés (cf § 2.1 de la présente annexe).

Pour les enrobés bitumineux les actions de R&D conduites par le CEA visent à confirmer les inventaires radiologiques par des prises d'échantillons suivies d'analyses radiochimiques.

3.2 Le stockage réversible en couche géologique profonde pour les déchets de haute activité, de moyenne activité et à vie longue et le projet Cigéo

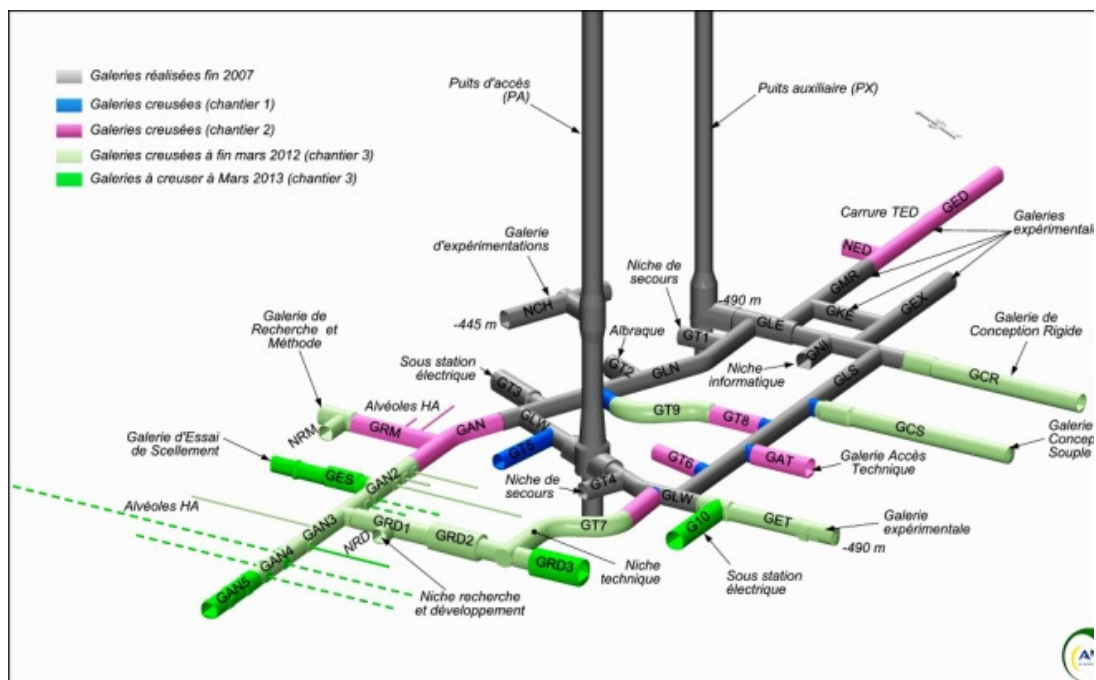
Avancement et perspectives du programme expérimental du laboratoire souterrain de Meuse-Haute-Marne

Le programme expérimental jusqu'en 2014 prévoit d'intensifier les essais technologiques et la réalisation d'expérimentations pour répondre aux demandes des évaluateurs, et d'acquérir les données les plus importantes pour l'établissement de la demande d'autorisation de création. Les travaux s'organisent suivant trois axes :

1. Poursuivre le programme associé à la construction des galeries et des alvéoles HA ;
2. Compléter les acquisitions sur les caractéristiques des argilites du Callovo-Oxfordien du point de vue géomécanique (lois de comportement de l'argilite, propriétés de transport de la l'EDZ⁹ correspondant à un réseau dense 3D de fractures interconnectées), priorité pour les programmes d'études d'ingénierie et de simulation, et transport-rétention (expérience de diffusion de longue durée) ;
3. Tester les composants de scellement de galeries, en vue d'optimisations technologiques des ouvrages du stockage et de tests de performance.

⁹ EDZ « Excavation Damaged Zone » ou « Zone Endommagée par l'Excavation ».

Pour réaliser ce programme, de nouvelles galeries ont été creusées en 2011.



Avancement des creusements des galeries du Laboratoire souterrain à mars 2012

Avancement du programme expérimental

Essais technologiques

Deux essais technologiques sur la construction des galeries ont été réalisés dans le but d'étudier les interactions entre la roche et le revêtement en fonction du délai de mise en place de celui-ci après le creusement :

la construction de la galerie-test à conception rigide (GCR) dans la direction de la contrainte horizontale majeure a permis d'examiner les conditions de réalisation d'un revêtement en béton coulé en place environ 6 mois après le creusement. Le suivi de cette galerie sur une longue durée apportera des informations sur, (i) sa mise en charge et son comportement dans le temps, (ii) l'évolution de la fracturation initiale de l'argilite après la pose du revêtement, et notamment de la perméabilité ;

la construction de la galerie GRD2 avec un revêtement en béton projeté épais (45 cm) en béton, mis en place le plus tôt possible après le creusement.

La comparaison du comportement de ces galeries et de la galerie à conception souple (GCS) permettra d'appréhender la relation entre les déformations du terrain et le chargement d'un revêtement rigide.

Dans le cadre de la phase 2 du programme d'essai sur les alvéoles HA, une alvéole de 40 m a été creusée avec un chemisage instrumenté. L'objectif est double (i) compléter les données sur l'évolution de l'interface argilite/chemisage, (ii) tester des méthodes d'auscultation du chemisage, notamment par fibres optiques. Le chemisage a été rendu complètement étanche, y compris en paroi de galerie, de façon à voir si l'annulaire externe se remplit d'eau et à quelle vitesse.

Caractéristiques des argilites du Callovo-Oxfordien

Les mesures de charge sur les tubages instrumentés en forages de petits diamètres se sont poursuivies. Après plus d'un an de test, le chargement tend à devenir isotrope. Un essai de traction a été tenté sur l'un des tubages pour mesurer le coefficient de frottement acier/argilite. Les forces de frottement ont excédé la résistance du filetage qui s'est rompu à un peu plus de 60t. Le tubage chauffant installé pour les tests d'élongation de tubage (TEC) a été soumis à un premier cycle de chauffe jusqu'à 55°C du 7 juin et 9 septembre 2011. Après refroidissement total, un nouveau cycle a été lancé en janvier 2012 pour atteindre une température de 90°C. Concernant l'expérience TED (Test Elongation de Tubage), la phase de chauffe avec les trois sondes se termine. Elle va être suivie d'une phase de décroissance thermique contrôlée. Un test préliminaire de faisabilité de l'essai de diffusion de longue durée a débuté à l'automne 2011. Le pouvoir de détection des capteurs est vérifié en utilisant des sources scellées de ^{22}Na . Ce test va se prolonger sur l'année 2012.

Tests des composants de scellement de galeries

Une saignée circonférentielle complète de 30 cm de large et de 2,5 m de profondeur a été réalisée dans une galerie expérimentale parallèle à la contrainte horizontale majeure (galerie GET) mi-2011. Elle a fait l'objet de mesures de déformations pendant et après sa réalisation. Ses parois sont toujours stables et n'évoluent pas.

Planification du programme expérimental jusqu'en 2014

Essais technologiques

Les prochaines étapes des essais technologiques sur la construction des galeries vont concerner d'une part le creusement d'un ouvrage de grand diamètre, la chambre de montage du tunnelier dont le diamètre excavé est de 7,8 m, d'autre part le creusement au tunnelier de 80 m de galeries pour tester la mise en place de voussoirs préfabriqués. Les mêmes ouvrages seront réalisés dans la direction de la contrainte mineure entre 2014 et fin 2015. La phase 3 d'expérimentation des alvéoles HA débutera par la réalisation d'une alvéole plus longue, avec une nouvelle machine plus puissante. Fin 2012, sera mis en place l'essai reproduisant en vraie grandeur le comportement thermo hydromécanique (THM) dans et autour d'une alvéole HA dans sa configuration de référence.

Caractéristiques des argilites du Callovo-Oxfordien

L'expérimentation CDZ « compression mécanique sur l'EDZ » va se poursuivre par un nouveau cycle de chargement après imbibition de la zone fracturée. Il s'achèvera par un déconfinement brutal de la paroi, pour observer la réaction de l'EDZ. Un nouveau dispositif expérimental a été mis en place pour acquérir des données sur la chimie de l'eau porale de l'argilite à 80°C. Un dispositif de prélèvement de permettant de suivre l'évolution des phases liquide et gazeuse extraites d'un volume significatif d'argilite porté à une température de $85 \pm 5^\circ\text{C}$ grâce à quatre forages chauffants. De nouvelles expériences de diffusion sont envisagées début 2014, si les tests de faisabilité sont concluants. L'objectif est d'avoir des distances de transfert pluri-décimétriques, significativement supérieures à la zone d'endommagement centimétrique en pourtour de la chambre d'injection, et d'évaluer l'anisotropie des propriétés de transfert due à la stratification de la formation. Les traceurs utilisés seront le ^{36}Cl , le ^{22}Na et des actinides.

Tests des composants de scellement de galeries

Concernant la fermeture des ouvrages souterrains, il est planifié des essais technologiques ou de performance des composants pris séparément. Le test de performance d'une portion de noyau de scellement en argile gonflante (expérience NSC) est prévu pour durer plusieurs années, de façon à suivre la resaturation et pour, *in fine*, estimer la perméabilité équivalente du système (noyau, interfaces, EDZ). Pour la mise au point de la méthode d'interruption de la zone endommagée au moyen d'une saignée remplie avec de l'argile gonflante des essais vont être menés en 2012 sur une maquette pour définir la méthode de remplissage. Si ces essais sont positifs, on passera à un essai de remplissage d'une saignée complète avec de l'argile gonflante, puis à une phase d'hydratation forcée. L'essai de mise en œuvre d'un scellement complet (noyau en argile gonflante et massifs d'appui en béton bas pH) en vraie grandeur sera réalisé dans une installation hors du Laboratoire souterrain. Il fera partie du projet européen DOPAS qui débutera fin 2012.

3.3 Les apports à la connaissance phénoménologique du stockage

On retient ici quatre 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.

3.3.1 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 :

- une zone, dite EDZ, correspondant à un réseau dense 3D de fractures interconnectées ;
- une zone, dite fracturée, caractérisée par des fractures peu ou pas interconnectées.

L'EDZ et la zone fracturée sont emboîtées et ont globalement une forme de type elliptique ; les dimensions des petits axes de l'EDZ et de la zone fracturée sont quasiment identiques alors que celles des grands axes diffèrent significativement (plusieurs rayons).

L'ensemble des données expérimentales souligne 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 jusqu'à celle des argilites faibles.

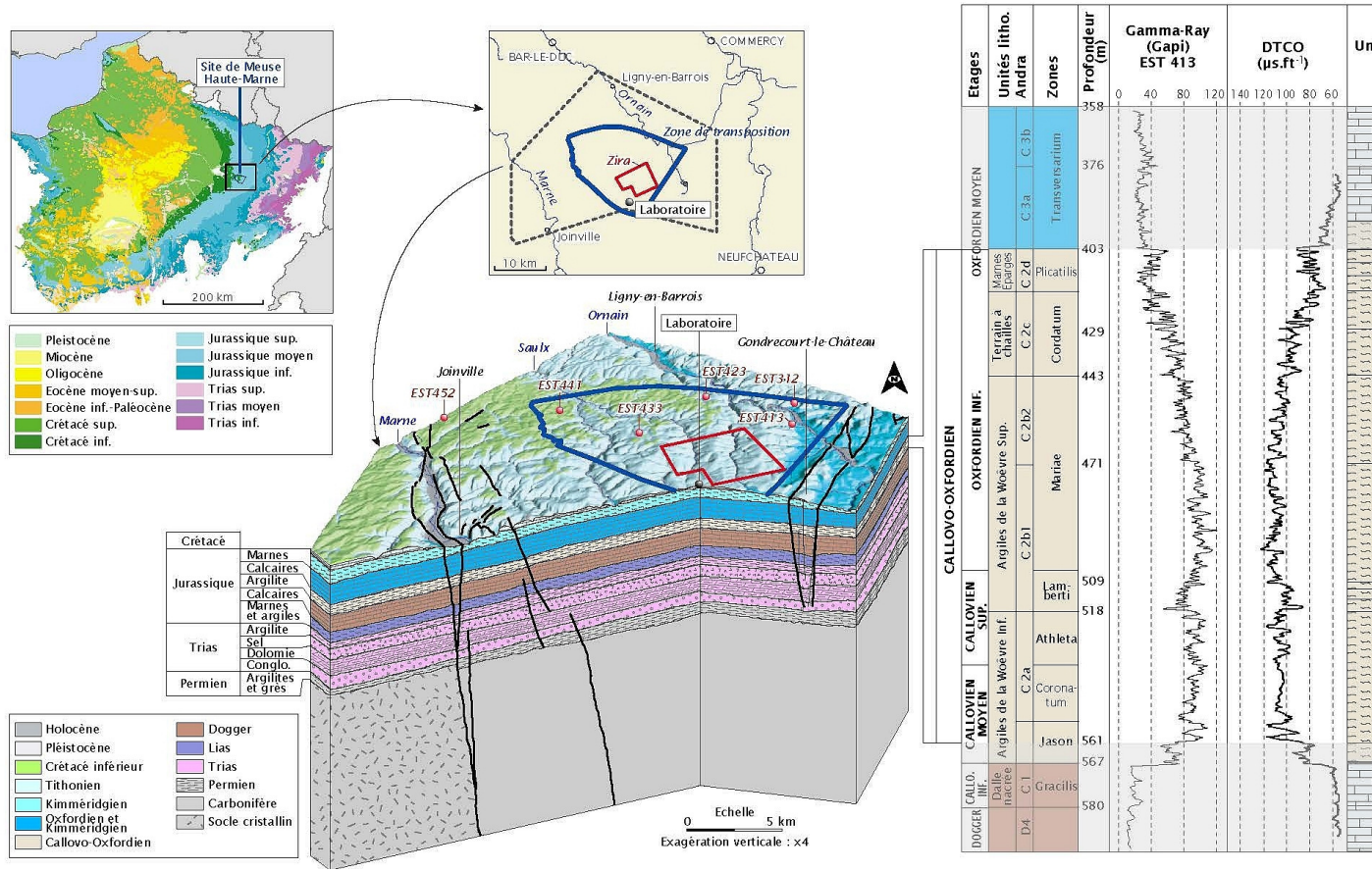
3.3.2 Le transfert des solutés dans la couche du Callovo-Oxfordien

L'analyse du régime de transfert de solutés dans la couche du Callovo-Oxfordien sur la Zone de Transposition, basée sur la caractérisation approfondie des paramètres hydro-dispersifs du Callovo-Oxfordien (perméabilité, coefficients de diffusion anions et cations) souligne le caractère dominant de la diffusion sur toute la Zone.

3.3.3 Les écoulements dans les formations encaissantes et leur évolution sur le prochain million d'années

Depuis la Zone d'Intérêt pour une Reconnaissance Approfondie (ZIRA), et à l'échelle de la Zone de Transposition (voir schéma ci-dessous), les trajectoires hydrauliques dans l'Oxfordien et dans le Dogger sont globalement homogènes tant en direction (Nord pour l'Oxfordien et Sud-est pour le Dogger) qu'en vitesse (de l'ordre de 1 km par 100.000 ans pour l'Oxfordien et 1 km par 20.000 ans pour le Dogger). Les gradients de charge

hydrauliques verticaux dans le Callovo-Oxfordien sur la ZIRA sont faibles, inférieurs à 0,1 m/m en valeur absolue, et majoritairement descendants sur la ZIRA. Les simulations basées sur les taux d'érosion des terrains de surface montrent une évolution très peu marquée des gradients de charge hydrauliques, et des trajectoires associées, dans les formations encaissantes sus et sous-jacentes du Callovo-Oxfordien sur le prochain million d'années.



Implantation du projet de stockage Cigéo

Le transitoire hydraulique-gaz

Les données acquises au travers des expérimentations (sur échantillons et en Laboratoire souterrain) conduites dans le groupement de laboratoires sur le transfert des Gaz et au travers du programme européen Forge ainsi que les simulations numériques reposant sur une représentation plus fidèle des termes sources et paramètres de transfert des gaz ont permis de dégager des éléments nouveaux. La capacité de transfert aisée du gaz dans les fractures des argilites et dans les assemblages de « pellets » (granulats d'argile) retenus pour constituer les noyaux des scellements, conduit à considérer un transfert de l'hydrogène gazeux dans la zone centrale et son passage par les ouvrages d'accès vers l'Oxfordien, comme aussi probable que son confinement dans les zones de déchets. L'hydrogène migre uniquement sous forme dissoute et par diffusion dans la couche du Callovo-Oxfordien vers l'Oxfordien Carbonaté et le Dogger. Les pressions d'hydrogène gazeux dans le stockage sont bien inférieures à celles du domaine de fracturation des argilites.

3.4 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, le schéma d'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.

3.4.1 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 en grand, à partir notamment de modèles de représentation simplifiée du comportement hydromécanique des assemblages de « pellets ». On devra 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.

3.4.2 Les inventaires radiologiques et les termes source de certains déchets

L'inventaire en ^{129}I résulte d'un bilan usine, il est au maximum de 1% de l'inventaire total des combustibles usés initiaux. Des techniques analytiques nouvelles permettraient de montrer que les teneurs en ^{129}I sont plus faibles que celles considérées actuellement dans l'inventaire. Il en va de même pour le ^{36}Cl , l'évaluation plus précise des teneurs dans les verres et les éléments de structure pouvant conduire à des gains dont l'ampleur sera à préciser.

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 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.

3.5 Recherches sur l'entreposage

3.5.1 Etudes et recherches de concepts innovants d'entreposage

En vue d'explorer les possibilités d'innovation mises en avant dans le rapport d'étape qu'elle a publié en 2009, l'Andra a engagé une étude d'approfondissement technique et d'optimisation de trois concepts pour les déchets HA et d'un concept pour les déchets MAVL, tous supposés réalisés en surface. Ces concepts ont été élaborés pour notamment apporter une plus grande polyvalence vis-à-vis des colis pris en charge. De plus, une étude plus détaillée des systèmes de surveillance est engagée.

Concept HA en puits ventilés

Dans le concept en puits ventilés, des casiers regroupant six colis primaires ou trois colis de stockage, rendent l'entreposage plus polyvalent. En contrepartie la puissance thermique des colis primaires est limitée à 1 000 W, contre 2 000 W sur l'extension des entreposages des verres - sud-est (E-EV-SE) de La Hague. Les casiers sont empilés verticalement dans des puits en acier inoxydable fermés. Le refroidissement est assuré par une ventilation naturelle. Ce concept est adapté pour entreposer, après une première période de décroissance thermique, un grand nombre de colis de déchets vitrifiés fortement exothermiques pour un refroidissement poussé jusqu'à 85 ans et au-delà. Par sa polyvalence il est aussi en mesure d'accueillir des colis HA de différentes dimensions retirés du stockage.

L'approfondissement de l'étude vise notamment à augmenter la puissance thermique unitaire des colis HA acceptable dans ce concept d'entreposage, à améliorer les possibilités de surveillance tout en cherchant à diminuer la masse des équipements mobiles de manutention qui rendrait nécessaire un renforcement des alvéoles d'entreposage.

Le concept HA sur dalles

L'entreposage des coques compactées à La Hague a été conçu pour recevoir les colis standard de déchets de coques et embouts compactés (CSD-C). Ces colis ont en moyenne des puissances thermiques de l'ordre de 15 à 20 W. Un concept d'entreposage pour des colis HA sous leurs formes primaire ou de stockage, de puissance thermique inférieure à 500 W a été dérivé en 2009 de celui de l'entreposage des coques compactées (ECC). La ventilation est mécanique et horizontale avec recyclage partiel de l'air chaud sortant, pour réguler l'humidité. Le bâtiment d'entreposage assure la radioprotection et la manutention est télé-opérée. Les colis primaires ou de stockage sont posés verticalement sur une sole disposée sur la ou les dalles d'un bâtiment. Ce concept est polyvalent et permet l'accessibilité à chaque colis pour surveillance. Il conviendrait pour créer des capacités d'entreposage tampon ou pour accueillir des colis récupérés du stockage. Les études complémentaires portent sur l'amélioration de l'évacuation de la chaleur.

Le concept HA en modules béton

Un concept d'entreposage pour des colis HA sous leurs formes primaire ou de stockage, de puissance thermique inférieure à 1 500 W, a été dérivé en 2009 de celui du concept NUHOMS® existant pour les combustibles usés. Les colis HA sont placés dans des

conteneurs d'entreposage par groupes de 24 à 30 colis primaires ou 15 à 16 colis de stockage. Ces conteneurs sont fermés et assurent le confinement et la protection des colis. Ils sont posés horizontalement dans des casemates en béton qui sont refroidies par une ventilation naturelle circulant au contact du conteneur. Les casemates apportent la radioprotection. Ce concept d'entreposage va être optimisé pour une meilleure articulation avec le transport.

Le concept d'entreposage MAVL

Les colis primaires regroupés en casiers ou les colis de stockage sont pré-empilés puis placés en longue file sur des longrines mobiles, pour un ajustement aux différentes dimensions des casiers et des colis de stockage.

4 POURSUIVRE LES RECHERCHES EN SEPARATION TRANSMUTATION

4.1 Objet et enjeu des recherches :

La séparation-transmutation a pour objectif de retirer des déchets ultimes les actinides mineurs, principaux contributeurs à la radio-toxicité à long terme, et à la charge thermique résiduelle après période de décroissance.

Le CEA doit émettre pour la fin 2012, conformément aux attendus de la loi du 28 juin 2006, un dossier sur les études et recherches en séparation transmutation conduites 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 d'une évaluation des perspectives industrielles de ces filières. Dans le cadre des études menées sur la période 2010-2012, les points suivants peuvent être soulignés :

- la transmutation de l'américium et du curium permettrait de réduire la radio-toxicité à long terme des déchets ultimes jusqu'à de l'ordre d'un facteur 100 à 1000-10000 ans sans toutefois apporter de gain relatif à l'impact radiologique du stockage. En effet, l'Andra a mis en évidence que la forte rétention dans les argilites du Callovo-Oxfordien les confinait dans le champ proche et que le flux d'activité associé aux actinides mineurs sortant de la formation hôte était négligeable) ;
- la transmutation du seul américium présenterait une incidence limitée sur la toxicité à long terme mais permettrait de réduire l'emprise du stockage de l'ordre d'un facteur 2 à 5 (la réduction d'un facteur 5 nécessiterait un entreposage préalable de 120 ans) pour les seuls déchets HA ;
- la performance globale est limitée par les déchets produits auparavant ("talon initial"), ainsi que par la capacité à résorber l'inventaire en fin de vie du parc ;
- la transmutation des actinides mineurs n'a de sens que si l'on met en œuvre le multi recyclage du plutonium ;
- la transmutation n'est efficace que si elle conduit à la fission des actinides : en ce sens, les systèmes à neutrons rapides sont les plus appropriés.

La transmutation est une opération complexe, qui nécessite la récupération des éléments d'intérêt (séparation des actinides mineurs), puis leur recyclage en réacteur pour les fissionner, diverses options étant envisageables : voies homogène ou hétérogène, strate dédiée.

Les recherches menées au CEA ont permis de valider sur combustibles réels, à l'échelle du laboratoire des procédés de séparation des actinides mineurs, et certains dispositifs de transmutation ; ces concepts restent à consolider et nécessiteraient, avant industrialisation, des expérimentations à plus grande échelle.

La mise en œuvre ne pourrait intervenir qu'avec le déploiement de systèmes à neutrons rapides dans le parc. L'incidence d'une telle stratégie, tant au niveau du réacteur qu'au plan du cycle a fait l'objet d'une première analyse au regard de l'ensemble des critères à considérer. La mise en œuvre industrielle ne peut pas être envisagée pour les déchets générés ou engagés par le parc actuel.

En l'état des connaissances actuelles, une récupération à des fins de transmutation des actinides mineurs dans les déchets vitrifiés ne paraît pas envisageable. La mise en œuvre de l'option de transmutation ne supprime pas le besoin d'un stockage géologique pour les déchets ultimes.

L'objectif des recherches dans la période 2013-2015 sera essentiellement (selon décisions qui pourraient être prises après le rendez-vous de 2012 prévu par la loi du 28 juin 2006) :

- de consolider les concepts de séparation mis au point pour la récupération des actinides mineurs ;
- de poursuivre le développement des procédés de fabrication des combustibles chargés en actinides mineurs ;
- de poursuivre les irradiations expérimentales relatives aux divers concepts envisagés pour la transmutation des actinides mineurs, et de préciser les possibilités de démonstration dans le prototype ASTRID ainsi que dans l'installation MYRRHA ;
- d'affiner les évaluations technico-économiques selon divers scénarios de déploiement ;
- de poursuivre la recherche amont, exploratoire ou fondamentale dans le domaine.

4.2 La séparation des actinides mineurs

Les recherches ont abouti à la mise au point d'extractants spécifiques et de procédés de séparation, testés avec succès à l'échelle du laboratoire, pour chacune des voies envisagées : extraction de l'Am(EXAm), extraction de l'Américium et du Curium (SANEX) et extraction groupée de tous les actinides (GANEX).

Il s'agira essentiellement, dans la période 2013-2015 :

- de poursuivre, sur le concept EXAm, « l'expérimentation intégrale » envisagée à l'échelle de quelques kg de combustibles usés, depuis les opérations de traitement jusqu'à l'élaboration de pastilles d'AmO₂. Cette expérimentation permettra de tester à l'échelle du laboratoire, l'enchaînement des diverses opérations unitaires (séparation, conversion en oxyde, fabrication de pastilles), mais aussi les diverses opérations annexes (notamment de gestion des effluents et sous-produits) ;
- d'optimiser les procédés, et en premier lieu le concept EXAm de récupération de l'américium. Il s'agira essentiellement de chercher à diminuer la taille des opérations unitaires et les flux générés en cherchant à opérer sur des flux de matière plus concentrés ;
- de mener des recherches exploratoires sur des alternatives aux molécules et procédés étudiés ;

- de poursuivre les études de consolidation des procédés afin de mieux en étudier les conditions de mise en œuvre industrielle (technologies, dispositifs de contrôle et de conduite notamment).

4.3 La fabrication de combustibles porteurs d'actinides mineurs

La fabrication de composés porteurs d'actinides mineurs doit tenir compte des spécificités de ces derniers, et notamment leur radioactivité (alpha, gamma, neutrons), en particulier pour les concepts de recyclage dits « hétérogènes », avec des combustibles à teneur voisine de 10% en actinides mineurs sur support UO_2 .

Les recherches concernent, pour les éléments d'intérêt et en premier lieu l'américium :

- l'élaboration de poudres d'oxydes obtenues par des procédés de co-conversion U-actinides mineurs (en particulier co-précipitation suivie de co-calcination) ;
- la fabrication de composés riches en actinides mineurs, en prêtant une attention particulière à la production de très fines particules, sources potentielles d'irradiation (éradication des étapes de broyage dans les procédés de mélange de poudres, études exploratoires relatives à des alternatives tels que procédés de gélification) ;
- les études de développement de composants technologiques téléopérables (maintenance classique par intervention en boîtes à gants impossible), et le développement de concepts de robotique avancée (lesquels pourraient par ailleurs bénéficier aux études de fabrication de combustibles au plutonium) ;
- les études relatives aux matériaux de gainage des composés, pour tenir compte en particulier des fortes quantités d'hélium générées.

Il s'agira aussi dans la période 2013-2015 de poursuivre l'étude d'installations-pilotes pour préparer des expérimentations de transmutation à l'échelle d'aiguilles de gaines de combustible.

4.4 Les irradiations expérimentales

Les études se poursuivent pour mettre au point les dispositifs de transmutation et valider le bon comportement en pile des combustibles de transmutation se rapportant aux divers concepts envisagés. On s'intéressera en premier lieu à la transmutation de l'américium :

- ***pour le recyclage homogène***, il s'agit, suite aux expérimentations passées réalisées dans PHENIX et qui ont permis la validation du concept jusqu'à des teneurs de quelques % en actinides mineurs, de s'intéresser aux forts taux de combustion (de l'ordre de 100 GWj/t) envisagés pour les réacteurs rapides ;
- ***pour le concept de recyclage en couvertures***, il s'agit de mener des expérimentations à l'échelle de minidisques (moins d'un gramme) en s'efforçant de reproduire lors d'irradiations en réacteurs expérimentaux les caractéristiques opératoires des couvertures de réacteurs rapides (régimes de température notamment) et les productions de gaz correspondant aux taux de transmutation visés. C'est sur ce mode de transmutation pour lequel les études sont les moins avancées que portera l'essentiel des efforts dans la période 2013-2015..
- ***pour le concept de recyclage dans une strate dédiée (Accelerator Drive System - ADS notamment)***, des analyses post-irradiations des échantillons de combustibles FUTURIX irradiés dans PHENIX dans le cadre d'un programme international CEA-DOE-ITU seront menées (à partir de 2013).

La capacité de démonstration d'un prototype d'ADS comme le projet européen MYRRHA en Belgique pour démontrer l'irradiation de combustibles dédiés à la transmutation des actinides mineurs sera également étudiée. Il s'agira aussi de préciser la nature et l'échelle des démonstrations qui pourront être opérées dans le prototype ASTRID ou dans l'installation MYRRHA. Les efforts porteront sur notamment dans la phase 2013-2015 sur la détermination précise du domaine retenu pour la capacité de transmutation des actinides mineurs dans ASTRID, en identifiant en particulier les éventuels « effets de seuil » sur le dimensionnement du réacteur (domaines pour lesquels l'objectif de démonstration affecte sensiblement le dimensionnement du réacteur).

4.5 Les études de scénarios

Les études menées dans la période 2006-2012 qui seront rapportées dans le dossier présenté par le CEA fin 2012 ont permis d'évaluer, à l'aune de divers critères (gains sur la gestion des déchets, mais aussi coûts et détriments sur l'ensemble du cycle), l'incidence de la mise en œuvre d'options de séparation-transmutation des actinides mineurs.

Au cours de la période 2013-2015, le CEA s'intéressera :

- à la consolidation de ces évaluations : estimation d'incertitudes, quantification plus poussée de certains critères, actualisation de certains paramètres technologiques selon l'avancée des recherches que ce soit pour les concepts de réacteurs critiques ou pour les ADS ;
- à l'élaboration, en coopération avec les partenaires industriels, et en cohérence avec les décisions qui seront prises par les pouvoirs publics, de scénarios de déploiement éventuel de telles options dans le parc français. Les options seront envisagées pour le prototype ASTRID de réacteur à neutrons rapides refroidis au sodium ASTRID et également, dans un cadre européen, pour l'installation MYRRHA.

4.6 La recherche amont

La recherche amont en support aux études de séparation et transmutation sera menée :

- pour les aspects liés à la radiochimie et aux études de concepts de séparation à Atalante au CEA Marcoule, et au sein de l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM). Une contribution du programme NEEDS du CNRS est également envisagée. La recherche s'intéresse à l'identification et à la maîtrise des phénomènes fondamentaux qui gouvernent l'extraction sélective des éléments d'intérêt, les actinides, et à l'exploration de concepts originaux ;
- pour les aspects liés à la transmutation, par l'exploitation d'irradiations analytiques (irradiations PROFIL) pour la validation de données nucléaires au sein du CEA et la validation des données nucléaires élémentaires dans le cadre du programme NEEDS du CNRS et des programmes européens L'acquisition de données nucléaires relatives aux éléments d'intérêt et les études de sensibilité seront poursuivis.

5 MENER DES RECHERCHES EN SUPPORT A L'EXPERTISE DE SURETE DES PROJETS DE STOCKAGE

L'IRSN s'est organisé pour produire en temps voulu les expertises des dossiers de sûreté qui seront présentés par l'Andra en vue de la création de nouvelles installations de stockage pour les déchets radioactifs. Parmi les domaines qui justifient un effort important de recherche figure celui de la sûreté d'un stockage en couche géologique profonde. Les activités de recherche de l'IRSN sur ce sujet se positionnent différemment de celles à la charge de l'Andra. Mobilisant des moyens bien plus limités, elles se focalisent sur un nombre restreint de sujets ciblés visant à apporter, de manière indépendante, le support nécessaire aux expertises à venir. A cet égard, l'échéance du plan 2013-2015 coïncide avec une date clé pour l'IRSN qui aura à instruire pour l'Autorité de sûreté nucléaire le dossier préparé par l'Andra en support à la demande de création d'une installation de stockage en formation géologique profonde. L'IRSN exploitera dans cette perspective l'ensemble des connaissances nouvelles acquises en propre ou par la communauté scientifique depuis notamment l'examen du Dossier 2005 relatif à la faisabilité d'un stockage géologique en couche argileuse. Pour la période 2013-2015, l'Institut a plus particulièrement prévu :

- **d'accentuer son effort de recherche sur le comportement des barrières de confinement du stockage, notamment pendant la période transitoire**, débutant durant la phase d'exploitation du stockage et se poursuivant après sa fermeture. A cet égard, les phénomènes à prendre en compte sont notamment :
 - **les phénomènes thermiques, hydriques et mécaniques (THM)** susceptibles d'affecter les performances des composants du stockage. L'IRSN fera essentiellement porter ses efforts, dans les trois ans à venir, d'une part sur la poursuite des expérimentations de scellement dans la station expérimentale de Tournemire visant à apprécier les paramètres clés qui gouvernent les performances globales de scellements (essais SEALEX) et sur leur modélisation, d'autre part sur la compréhension et la modélisation des effets des gaz dans un stockage. L'IRSN contribue sur ce point au projet européen Forge pour ce qui concerne notamment l'évaluation des mécanismes de formation de gaz et les simulations numériques des effets attendus. S'agissant du comportement mécanique des alvéoles de stockage (apparition de l'EDZ, rôle des soutènements...), l'IRSN complétera les simulations de ce comportement en tenant compte des observations effectuées dans les différents laboratoires, notamment celui de Bure ;
 - **les principaux facteurs d'évolution physico-chimique des composants du stockage**, Les études engagées visent à préciser l'influence sur la sûreté des processus chimiques au cours des différentes phases de vie d'un stockage. Sur ce point, l'Institut a prévu de poursuivre l'étude des effets possibles du développement bactérien sur la corrosion des aciers et l'étude des phénomènes de radiolyse et de dégradation des colis de déchets ainsi que d'accentuer son effort sur la compréhension des interactions chimiques complexes ciment/fer/argile. Les expérimentations menées dans cet objectif dans la station expérimentale de Tournemire porteront sur l'impact et la durée du transitoire oxydant dans des alvéoles simulant des alvéoles de type HA (essais OXITRAN) et sur la durabilité des bétons et la perturbation des argiles en champ proche sous l'effet de la température (essais CEMTEX) ou d'une ventilation artificielle. L'IRSN participera également aux études expérimentales conduites dans le laboratoire souterrain du Mont Terri (en Suisse) et portant sur l'évolution des matériaux argileux sous l'effet d'un pH alcalin ;
- **de compléter l'étude des caractéristiques importantes pour la capacité de confinement de la barrière géologique**, outre l'analyse des données de terrain relatives au site étudié par l'Andra et l'évaluation des limites des méthodes de reconnaissance employées, l'Institut poursuivra ses efforts sur l'étude la fracturation différentielle des argiles, qui vise notamment à apporter des éléments d'explication concernant la présence ou l'absence de fracturation dans diverses formations argileuses. En parallèle, l'IRSN a prévu, au moyen du

programme FRACTEX qui sera mis en œuvre dans la station expérimentale de Tournemire, d'étudier les propriétés de transport associées à des zones faiblement perturbées du milieu. L'IRSN complètera par ailleurs sa connaissance des propriétés de transfert associées aux formations argileuses indurées en participant au programme national TAPSS2000 associé au forage profond de 2000 m réalisé par l'Andra dans le site de Meuse /Haute-Marne et au programmes de recherche associés au projet de forage à travers la totalité de la couche argileuse du Mont Terri ;

- **de consolider sa capacité de modélisation globale du stockage.** A cet égard, il poursuivra son évaluation de l'influence des schémas hydrauliques du site de Meuse/Haute-Marne au moyen de modèles hydrogéologiques propres en intégrant l'ensemble des nouvelles données acquises. L'IRSN prévoit également un effort particulier sur la simulation des transferts de radionucléides dans le milieu géologique au moyen du code de calcul MELODIE. Enfin, l'IRSN prévoit d'approfondir la définition des scénarios d'évolution possible à très long terme du stockage et de son environnement, sur la base des connaissances scientifiques disponibles en la matière.

Les recherches de l'IRSN ne s'effectuent pas isolément. Sur le plan national, de nombreuses coopérations sont en effet déjà engagées avec un réseau de partenaires scientifiques réputés, organismes, écoles et universités. L'Institut participera également, en collaboration avec le CNRS au programme NEEDS. L'IRSN a en outre renouvelé le protocole d'accord établi avec l'Andra et permettant la réalisation d'actions de recherche communes selon des dispositions permettant le respect des règles de déontologie nécessaires. Sur le plan international, l'IRSN vise à inscrire ses recherches sur le plan européen. Outre le programme Forge du 7^{ème} Programmes-cadre pour la recherche et le développement technologique (PCRD) auquel il participe (cf. ci-avant), l'Institut coordonne le projet SITEX, rassemblant 15 organismes d'expertise et autorités de sûreté, visant notamment à créer les conditions, à l'échelle européenne, d'une bonne articulation entre la recherche dévolue aux développements technologiques, portés par la plateforme IGDTP, et celle concernant la sûreté des stockages, à laquelle les organismes indépendants des exploitants nucléaires doivent nécessairement prendre part. Des partenariats internationaux, notamment avec des organismes japonais (JAEA, JNES), canadiens (CCSN) et russes (SEC/NRS, IBRAE) ont également été créés autour de projets particuliers de recherche de l'IRSN.

L'Institut rappelle enfin sa volonté de poursuivre la mise à disposition de ses moyens expérimentaux, en particulier la station expérimentale en milieu argileux de Tournemire (Aveyron), intégrée depuis 2007 au réseau des centres d'excellence de l'AIEA, à la communauté scientifique française et étrangère.

6 MIEUX APPREHENDER LA DIMENSION SOCIETALE DE LA GESTION DES DECHETS

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.

La thématique de la réversibilité a été la première à être privilégiée dans ce sens par l'Andra. Plusieurs manifestations scientifiques, et notamment l'organisation de deux colloques, ont résulté de ce travail, ainsi que la publication du livre collectif « Rendre gouvernables les déchets radioactifs. Le stockage profond à l'épreuve de la réversibilité ». Une thèse de doctorat en sciences économiques a été également soutenue portant sur cette thématique.

L'Andra a également lancé un projet « mémoire » en 2010 qui 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 sur le vieillissement de matériaux et sur des problématiques propres aux sciences humaines et sociales (SHS). 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 jusqu'à l'échelle du million d'années. Quant aux études en SHS, il est prévu d'abord une approche bibliographique afin de cadrer, le cas échéant, des recherches à insérer dans le programme scientifique de l'Agence. Les travaux envisagés s'articulent autour des thématiques suivantes :

- la pérennité 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 ;
- les 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 ;
- 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 ;
- l'archéologie des techniques et des paysages, intégrant l'évolution d'origine anthropique et l'évolution géodynamique ainsi que les possibilités mémorielles au sein même des créations humaines (utilisation du remblayage des liaisons surface-fond comme un outil de mémorisation) ;
- la mémoire des stockages « historiques » non gérés par l'Andra, qui existent dans différents lieux en France (mines d'uranium, essais nucléaires...) ;
- les évolutions sociétales prévisibles ;
- l'intégration de la préservation de la mémoire des stockages aux programmes d'enseignement sur le nucléaire, le patrimoine et la mémoire ;
- la transmission intergénérationnelle de la mémoire via les réseaux sociaux sur Internet.

Par ailleurs, l'Andra participe aux travaux internationaux sur la mémoire dans le cadre du groupe de travail « Preservation of record knowledge and memory » mis en place par l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN/RWMC/RK&M).

Plus récemment, en 2011, l'Andra a constitué un comité de pilotage pluridisciplinaire pour mettre en place un groupement de laboratoires interdisciplinaire en sciences humaines et sociales (GL-SHS). Il intègre des chercheurs du CNRS, de SciencesPo Paris, de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, de l'Institut Francilien Recherche Innovation Société, de Mines ParisTech et d'autres institutions universitaires. La thématique générale qui a été choisie pour fédérer les

recherches du groupement est celle de la « transmission intergénérationnelle et appréhension des longues échelles de temps ». Car la dimension temporelle impliquée dans les activités de l'Agence, en particulier dans la gestion de déchets les plus radioactifs, est en effet unique en comparaison avec d'autres domaines industriels. Elle soulève des questions d'une très grande complexité, concernant notamment la capacité d'anticiper des événements sur des longues durées et en assurer leur maîtrise. Une entrée par les pratiques et les dispositifs concrets de production du projet de stockage géologique Cigéo a été l'approche retenue. La question se pose notamment de la transmission aux générations futures des moyens et des ressources d'intervention sur le devenir de ce projet. En vue de favoriser le croisement de perspectives et la fertilité des échanges, le programme de recherche du GL-SHS est co-construit par les membres du comité de pilotage et le pilote Andra. Il se structure autour des trois axes suivants : gouvernance, savoirs et mémoire ; évaluation socio-économique.

Le premier axe a trait principalement à l'intégration des aspects sociaux et des éléments scientifiques et techniques au sein des processus décisionnels. Des changements profonds ont été opérés dans le domaine de la gouvernance des déchets radioactifs ces dernières décennies. Il est question notamment d'articuler le temps long de la recherche (et des déchets radioactifs) avec le temps industriel et le temps politique. Ces logiques temporelles sont portées par des acteurs multiples, aux intérêts qui peuvent être contradictoires, et entraînent des évolutions organisationnelles.

Le deuxième axe pointe surtout la robustesse des savoirs sur le long terme et la transmission intergénérationnelle des informations, des pratiques et des connaissances nécessaires au projet Cigéo. Le régime spécifique de production de connaissances mis en place à l'Andra pour (dé-)montrer la faisabilité et la sûreté du stockage géologique réversible de déchets radioactifs, et notamment l'utilisation des outils de modélisation et de simulation numérique, intéresse tout particulièrement les historiens des sciences. Ce sont les traits caractéristiques des techno-sciences modernes et la complexité des relations sciences-société qui peuvent être aussi interrogées dans une optique nouvelle. L'appréhension techno-scientifique du temps long, ou plus précisément du futur, est en effet un objet de recherche qui suscite actuellement beaucoup d'expectatives de la part des sciences sociales. Par ailleurs, la problématique de l'appréhension des longues échelles de temps n'est pas indépendante de celle de la mémoire, pour laquelle la perspective socio-anthropologique privilégiée par le GL-SHS peut s'avérer très instructive. Malgré les efforts portés depuis les années 1980 par les responsables de la gestion des déchets radioactifs au niveau mondial, notamment par les pays nordiques autour de l'archivage institutionnel et par les Etats-Unis autour des marqueurs, peu de recherches académiques ont cependant été menées sur la question de la mémoire plurimillénaire dans ce domaine.

Le troisième axe s'articule autour de l'étude des méthodologies et des pratiques d'évaluation socio-économique applicables au projet Cigéo, ainsi que des répertoires des acteurs impliqués, ou susceptibles de l'être, dans cette évaluation. Il s'agit, entre autres, d'analyser les fonctions et les rôles respectifs de différents types d'évaluation (ex ante/ex post/ex nunc, internes/externes...), comment différentes formes de connaissance y sont intégrées, et la place accordée à la prospective et à la scénarisation dans celles-ci. La comparabilité avec des projets semblables à travers l'étude des cas « grands projets » a été également retenue tout particulièrement.

Enfin, le programme NEEDS du CNRS place les SHS au centre de 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. Cette perspective exige d'adopter un regard à la fois rétrospectif sur les modalités de mémorisation des sites à risque (sites pollués, résidus miniers...) et prospectif sur la mutualisation de données et leur transformation en connaissances opératoires

dans des systèmes d'information adaptés (par exemple, pour la gestion des contaminations selon des échelles de temps différenciées...). Ce positionnement permettra plus largement d'apporter des réponses concrètes issues des expériences passées pour envisager des scénarii de prise en charge publique du transfert de connaissances. En effet, en matière de gestion des déchets et des matières radioactives sur de longues durées, l'enjeu porte non seulement sur la mémorisation des données mais plus largement sur le travail de mémoire porté par les acteurs ainsi que sur les styles décisionnels les plus adaptés à de telles échelles de temps. Une attention particulière sera portée sur les questions suivantes :

- Quelles sont les implications sociétales des différentes solutions possibles de gestion à long terme (entreposage, transmutation, stockage géologique...) ?
- Quels sont les modes de décision associés aux différentes options de gestion à long terme ?
- Quelles sont les conséquences à la fois techniques et politiques de l'impératif de réversibilité ?
- Comment transmettre aux générations futures les connaissances nécessaires au fonctionnement ou au démantèlement des équipements actuels ?
- Comment assurer une justice transterritoriale et entre les différentes générations ? Quels enjeux éthiques sous-jacents ?
- Quels impacts sur l'homme et son environnement, des différents choix de gestion des déchets et des matières radioactives ?
- Quel rôle des experts et des citoyens vis-à-vis de la décision publique en situation d'incertitude sur le long terme ?

Dans le traitement de ces questions, il ne s'agit pas de faire de l'ingénierie sociale pour rendre les solutions envisagées plus acceptables mais d'informer, au contraire, le débat et le choix public et de renforcer ainsi les liens entre la science et la société. L'ambition du programme NEEDS « nucléaire, risque, société » est d'assurer la progression des connaissances et l'élaboration des programmes, de réseaux et de compétences diversifiées, tout en répondant aux exigences de transparence et de soutenabilité qui caractérisent aujourd'hui la discussion publique. 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.

Annexe 5 : concepts et plans pour la période postérieure à la fermeture

1 CONCEPTS ET PLANS POUR LA PERIODE POSTERIEURE A LA FERMETURE DES INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

1.1 Centre de Stockage des déchets de Très Faible Activité

L'exploitation du centre de stockage des déchets TFA est encadrée par l'arrêté n°2012040-0002 autorisant l'exploitation de l'installation 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. A 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.

A l'issue de cette phase de surveillance, le maintien de la mémoire repose en particulier sur les servitudes inscrites à *minima* au registre des hypothèques.

2 CONCEPTS ET PLANS POUR LA PERIODE POSTERIEURE A LA FERMETURE DES INSTALLATIONS NUCLEAIRE 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 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. art. 43)
- 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. »*

2.1 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

recupérées 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 :
 - (i) 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 ;
 - (ii) l'information du public, notamment pendant la phase de surveillance, via notamment les échanges avec la commission locale d'information (CLI) et via les actions de communication ;
 - (iii) 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.

2.2 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, les bases de conception d'un stockage et la surveillance de l'installation durant les phases d'exploitation et de surveillance.

A 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 :
 - (i) 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 ;
 - (ii) le confinement des déchets est assuré par le colis et l'ouvrage (y compris couverture et réseaux de collecte des eaux d'infiltration) pendant les phases d'exploitation et de surveillance et par la formation géologique sur laquelle est implantée le stockage, notamment en phase de post surveillance ;
- les dispositions relatives à la surveillance de l'installation et de son environnement. A 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 autorisera 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.

2.3 Le stockage Cigéo en projet

Le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde édicté par l'Autorité de Sûreté en 2008. Ce guide définit :

- l'objectif fondamental de sûreté : la protection de la santé et des personnes 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 L542-10-1 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 Installations nucléaires de base telle que définie au §1.2.

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 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 à 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 repose sur cinq dispositifs : (i) deux 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.

A 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.

2.4 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 massive à vie longue » publiée par l'ASN en mai 2008. Elle définit ainsi :

- (i) 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.
- (ii) 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.

Annexe 6 : Accords intergouvernementaux conclus par la France en matière de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs (accords en vigueur, énumérés dans l'ordre chronologique)

1 ACCORDS EN VIGUEUR, ENUMERES DANS L'ORDRE CHRONOLOGIQUE

1 – Suisse :

Echange de lettres constitutif d'accord entre la France et la Suisse relatif au contrat de retraitement COGEMA, signé le 11 juillet 1978.

2 – 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 par décret n°2010-1167 du 30 septembre 2010

3 – Suède :

Echange de lettres constitutif d'accord entre la France et la Suède relatifs aux contrats de retraitement, signé le 10 juillet 1979. Echange de lettres complémentaire constitutif d'accord entre la France et la Suède, signé le 10 juillet 1979.

4 – Espagne :

Echange 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 Vandellòs I, signé le 27 janvier 1989.

5 – Japon :

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. Protocole modifiant cet Accord de coopération (ensemble trois annexes, un procès-verbal et un échange de lettres), signé à Paris le 9 avril 1990.

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, publié par décret n°2007-742 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, publié 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.

2 ACCORD EN COURS DE PROCESSUS DE MISE EN VIGUEUR

1 – 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.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

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

Autorité de sûreté nucléaire

6 place du Colonel Bourgoïn – 75 012 Paris

Tél. : 01 40 19 86 00

À partir du 1^{er} avril 2013

15-21 rue Louis Lejeune – 92 120 Montrouge

Tél. : 01 46 16 40 00

www.asn.fr

