

Plan national

de gestion des matières
et des déchets radioactifs

2010 – 2012



Sommaire

AVANT-PROPOS	5
INTRODUCTION	6
1. LA GESTION DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS : PRINCIPES ET OBJECTIFS	7
1.1. Présentation des matières et déchets radioactifs	7
1.1.1. Définition des matières et déchets radioactifs	7
1.1.2. Origine des matières et déchets radioactifs	8
1.1.3. Classification usuelle des matières et déchets radioactifs	9
1.1.4. Synthèse de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs	10
1.2. Les principes à prendre en compte pour définir les filières de gestion	14
1.2.1. Des modes de gestion très divers pour des déchets également très divers	15
1.2.2. Un nombre important de paramètres à optimiser pour chaque mode de gestion	16
1.3. Le cadre juridique et institutionnel de la gestion des déchets en France	19
1.3.1. Le cadre législatif et réglementaire	19
1.3.2. Le Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR)	24
1.3.3. Les acteurs de la gestion des matières et déchets radioactifs	25
2. BILAN DES FILIÈRES DE GESTION EXISTANTES ET EN DÉVELOPPEMENT FIN 2009	27
2.1. L'entreposage d'attente des matières et déchets radioactifs	27
2.1.1. L'entreposage et la gestion des déchets radioactifs par décroissance radioactive	27
2.1.2. Les anciens entreposages de déchets radioactifs	28
2.1.3. Les entreposages de matières valorisables	33
2.1.4. Evaluation de l'adéquation entre la capacité d'entreposage et l'inventaire prévisionnel des déchets	35
2.2. La gestion à long terme des matières valorisables	38
2.3. La gestion à long terme des déchets : les centres de stockage dédiés aux déchets radioactifs	42
2.3.1. La filière des déchets TFA	42
2.3.2. La filière des déchets FMA-VC	44
2.4. La gestion à long terme des déchets : les autres modes de gestion existants	45
2.4.1. Les résidus et stériles miniers	45
2.4.2. Les déchets à radioactivité naturelle renforcée	49
2.4.3. Les déchets radioactifs stockés dans des centres de stockage conventionnels	50
2.5. La gestion à long terme des déchets : bilan des recherches sur de nouvelles filières	51
2.5.1. Les déchets contenant du tritium	52
2.5.2. Les sources scellées usagées	55
2.5.3. Les déchets de faible activité à vie longue (FAVL)	59
2.5.4. Les déchets HA-MAVL : séparation / transmutation, stockage géologique réversible, entreposage	62
2.6. La cohérence globale de la gestion des matières et déchets radioactifs	68
2.6.1. Evaluation de l'exhaustivité des filières de gestion des déchets	68
2.6.2. Nécessité d'une optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion	68

2.6.3.	Etudes en sciences humaines et sociales	69
3.	AMÉLIORER LA GESTION DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS	71
3.1.	L'entreposage des matières et déchets radioactifs	71
3.1.1.	Actions à mener sur les anciens entreposages de déchets radioactifs	71
3.1.2.	Projets de création d'installations d'entreposage	75
3.2.	La gestion à long terme des matières valorisables	79
3.2.1.	Recherches sur la connaissance et le comportement de certaines matières	79
3.2.2.	Appréciation du caractère valorisable des matières radioactives	79
3.2.3.	Options de gestion si les matières devaient être considérées comme des déchets ultimes	81
3.3.	La gestion à long terme des déchets : les centres de stockage dédiés aux déchets radioactifs	82
3.3.1.	La filière des déchets TFA	82
3.3.2.	La filière des déchets FMA-VC	83
3.4.	La gestion à long terme des déchets : les autres modes de gestion existants	85
3.4.1.	Les résidus et stériles miniers	85
3.4.2.	Les déchets à radioactivité naturelle renforcée	87
3.4.3.	Les déchets contenant une activité radiologique stockés dans des centres de stockage conventionnels	88
3.5.	La gestion à long terme des déchets : les nouvelles filières	89
3.5.1.	Les filières à mettre en place pour les déchets contenant du tritium	89
3.5.2.	Les filières à mettre en place pour les sources scellées usagées	91
3.5.3.	Le projet FA-VL : graphites, radifères, autres	94
3.5.4.	Les recherches pour les déchets HA-MAVL : séparation / transmutation, stockage géologique réversible, entreposage	95
3.6.	Améliorer la cohérence globale de la gestion des matières et déchets radioactifs	102
3.6.1.	Définir des modes de gestion pour les catégories de déchets actuellement sans filière	102
3.6.2.	Optimiser la répartition des déchets entre filières de gestion	103
3.6.3.	Les études en sciences humaines et sociales	103
	CONCLUSION	105
	ANNEXE : SYNTHÈSE DES RÉALISATIONS ET DES RECHERCHES CONDUITES DANS LES PAYS ÉTRANGERS	107
I.	Synthèse des réalisations à l'étranger	107
I.1.	Elaboration d'un cadre légal	107
I.2.	Classification des déchets	108
II.	Filières de gestion existantes ou en cours de réalisation	109
II.1.	Choix du type de cycle du combustible	109
II.2.	Gestion des déchets FMA	109
II.3.	Gestion des déchets HA	110
III.	Le stockage comme solution de référence	111
III.1.	L'organisation de la recherche	111
III.2.	Le laboratoire souterrain, préalable ou non au projet de stockage	112
III.3.	LES RECHERCHES COORDONNÉES EN EUROPE	113
III.4.	OCDE-AEN	115
IV.	Les recherches sur la séparation-transmutation	116
IV.1.	Séparation des actinides mineurs	116

ANNEXE : ANALYSE DÉTAILLÉE DE L'ADÉQUATION ENTRE CAPACITÉS D'ENTREPOSAGE ET VOLUMES PROSPECTIFS DE DÉCHETS RADIOACTIFS

119

ANNEXE : VOLET RECHERCHE DU PNGMDR

125

1. Introduction	125
1.1. Grands jalons structurant la recherche menée dans le cadre du PNGMDR	125
1.2. Bilan en juin 2009 des études menées dans le cadre du PNGMDR 2007-2009	126
2. Préparer pour l'après 2012, une stratégie de recherche sur la séparation/transmutation des radionucléides à vie longue	131
2.1. Les recherches en séparation	131
2.2. Les études relatives à la fabrication du combustible	132
2.3. Les recherches relatives à la transmutation	133
2.4. Etudes technico-économiques et scénarios	134
2.5. Etudes amonts et données nucléaires	134
3. Améliorer la connaissance et travailler en amont sur le conditionnement des déchets	135
3.1. Les déchets de haute activité	136
3.2. Les déchets de moyenne activité	137
3.3. Les déchets FAVL	138
3.4. La connaissance de l'évolution du combustible utilisé	138
3.5. Les déchets des réacteurs de 4ème génération	139
4. Préparer les projets de stockage et d'entreposage des déchets	139
4.1. Entreposage	139
4.2. Le stockage à faible profondeur pour les déchets de faible activité et à vie longue	140
4.3. Le stockage réversible en couche géologique profonde pour les déchets de haute activité, de moyenne activité et à vie longue	141
4.4. Cibler des progrès scientifiques en support aux projets de stockage et d'entreposage	143
5. Recherches menées en support à l'expertise de sûreté du stockage en formation géologique profonde	144
6. Les études en Sciences Humaines et Sociales	145
6.1. La recherche académique sur le nucléaire	145
6.2. Appuyer une réflexion sur les solutions à long terme	146

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. 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 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.

Le lecteur notera que la structure et le périmètre du PNGMDR ont évolué depuis la version de 2006. Nous avons cherché à prendre en compte les remarques formulées sur la précédente version du PNGMDR, notamment celles de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, et de la Commission nationale d'évaluation. Les points relatifs aux matières valorisables ont été notablement complétés. Ce PNGMDR pourra encore être amélioré à l'avenir ; toutes les suggestions des lecteurs en la matière 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 l'information sont cruciales. De même, le dialogue et la concertation, notamment avec les représentants de la société civile, doivent désormais également être au cœur de l'élaboration des politiques publiques.

Par souci de concertation, le Gouvernement 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 traditionnels producteurs et gestionnaires de déchets radioactifs. Nous tenons à remercier chaleureusement l'ensemble des participants à ce groupe de travail 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 loi, 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.

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 publication du précédent PNGMDR en 2006, notamment la réalisation puis l'évaluation des études demandées par le Gouvernement. Si les progrès réalisés sont appréciables, le travail doit cependant 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 de l'ASN, autorité indépendante, 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 tenir les objectifs et les échéances fixés par le Parlement en 2006, mais aussi et surtout de progresser encore 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.

André-Claude Lacoste
Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)

Pierre-Franck Chevet
Directeur Général de l'Energie et du Climat (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'utilité du PNGMDR a été confirmée par le Parlement. Le rapport d'évaluation du PNGMDR 2007-2009 par l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Techniques indique ainsi que "l'intérêt d'un document synthétique exposant l'ensemble des problèmes et des solutions relatifs à la gestion des déchets radioactifs a été souligné à maintes reprises par l'Office [...]. Un tel plan pouvant permettre de se rapprocher de l'exhaustivité et d'introduire une cohérence dans la gestion des déchets radioactifs, l'Office avait jugé nécessaire qu'il soit, d'une manière ou d'une autre, raccordé à la loi. [...] Conformément aux recommandations de l'Office, la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des déchets radioactifs a disposé qu'un tel plan doit être élaboré, mis à jour tous les trois ans et publié, en étendant sa portée aux matières radioactives valorisables [...]."

Le PNGMDR permet ainsi au public de disposer d'une vision globale de la gestion des matières et déchets radioactifs, concernant à la fois les sujets "dans l'actualité" et ceux qui le sont moins. Certains déchets font en effet l'objet d'une attention particulière momentanée, par exemple à l'occasion de la recherche d'un site de stockage, comme en 2008-2009 pour les déchets dits de faible activité à vie longue "FAVL". Les médias ont également relayé en 2008 et 2009 des enquêtes spécifiques sur la gestion des résidus miniers, et sur l'uranium de retraitement ; l'ensemble de ces sujets est évoqué en détail dans le PNGMDR. D'autres sujets ou déchets attirent moins l'attention, tels les sources radioactives scellées, réparties de manière plus diffuse sur le territoire français, et dont l'amélioration de la gestion est abordée dans ce document. Un intérêt majeur du PNGMDR est ainsi sa vocation à l'exhaustivité.

L'article 6 de la loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs 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 document est 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. Un bilan des modes de gestion existants ou envisagés fin 2009 est ensuite dressé. La dernière partie présente les recommandations afin d'améliorer la gestion des matières et des déchets radioactifs, que ces matières et déchets bénéficient d'ores et déjà de filières de gestion définitive ou non. Plusieurs annexes sont incluses : une synthèse des réalisations et recherches conduites dans les pays étrangers ; une évaluation précise des besoins en installations d'entreposage ; et une présentation détaillée des études et recherches à mener dans les prochaines années concernant la gestion des matières et des déchets radioactifs.

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

1.1. Présentation des matières et déchets radioactifs

Quelques notions scientifiques concernant la radioactivité

La radioactivité est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux atomiques instables se transforment, après une chaîne de désintégration, en des noyaux atomiques stables. Ces réactions s'accompagnent d'un dégagement d'énergie, principalement sous forme de "rayonnements", qui peuvent être de trois types :

- le rayonnement "alpha" correspond à l'émission de noyaux d'Hélium 4 (2 protons + 2 neutrons) ; en irradiation externe, une simple feuille de papier est suffisante pour en arrêter la propagation ;
- le rayonnement "bêta" correspond à l'émission d'électrons (ou de particules équivalentes de charge positive) ; en irradiation externe une feuille d'aluminium est suffisante pour les arrêter ;
- le rayonnement "gamma" correspond à un rayonnement électromagnétique (comme la lumière visible ou les rayons X, mais de plus forte énergie) ; en irradiation externe des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

Les déchets radioactifs sont très divers ; certains d'entre eux peuvent présenter des dangers qui ne sont pas liés à leur caractère radioactif (toxicité chimique par exemple). Deux caractéristiques principales permettent de classer les déchets du point de vue de la radioactivité :

- l'"activité" des éléments radioactifs contenus dans les déchets, qui correspond au nombre de désintégrations par unité de temps (autrement dit il s'agit du "niveau" de radioactivité des éléments radioactifs) ; l'unité généralement utilisée pour mesurer l'activité des déchets, rapportée à leur masse, est le becquerel par gramme (Bq/g) ;
- la "période radioactive" des éléments radioactifs contenus, qui correspond au temps nécessaire pour que la quantité d'atomes d'un élément radioactif se soit désintégrée de moitié). La période varie avec les caractéristiques de chaque radioélément (110 minutes pour l'argon 41 ; 8 jours pour l'iode 131 ; et 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238). Aucune action physique extérieure n'est capable de modifier la période d'un élément radioactif, sauf une transmutation (transformation sous l'action de neutrons d'un élément radioactif en un autre). Au bout de 10 périodes, le niveau de radioactivité d'un élément est divisé par 1000 environ ; on considère généralement que cette durée d'une dizaine de périodes représente la durée de vie de l'élément considéré.

1.1.1. Définition des matières et déchets radioactifs

Au plan juridique, le code de l'environnement (art L.542-1-1) précise 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 ». En pratique, il n'existe pas de seuils d'activité ou de concentration uniques, valables pour tous les radionucléides, qui permettraient de déterminer si un contrôle de radioprotection est justifié.

Concernant les matériaux naturels, la plupart des recommandations internationales et des réglementations nationales retiennent une approche basée sur la concentration en activité massique, comparée à la moyenne constatée dans le monde.

Concernant les radionucléides artificiels, on considère que le contrôle de radioprotection n'est pas nécessaire pour les matériaux, utilisés en quantités limitées (typiquement inférieures à une tonne), dont l'activité massique (en Bq/g) et l'activité totale (en Bq) sont inférieures à des « seuils d'exemption ». Il existe en outre des règles de cumul et des limites en activité totale qui permettent de garantir qu'en cas d'accumulation significative de nombreuses sources toutes exemptées, l'activité

relève d'une autorisation du point de vue de la radioprotection. L'exemption correspond ainsi à la décision initiale de ne pas imposer de contrôle de radioprotection quand il n'est pas nécessaire.

Une autre notion importante est la libération, à savoir la sortie d'un matériau du domaine réglementé. Il existe différentes approches, selon les pays, de la libération du domaine réglementé des usages de la radioactivité. Certains pays mettent en œuvre des seuils de libération, exprimés en activité massique (Bq/g), soit universels (quel que soit le matériau, son origine et sa destination), soit dépendant du matériau, de son origine et de la destination. Ces seuils peuvent être plus bas que les seuils d'exemption ; ils ne peuvent être plus élevés pour une question de logique. La France a développé une approche différente puisqu'on considère que tout matériau entrant dans le cadre de la réglementation des usages de la radioactivité (c'est-à-dire utilisé dans le cadre d'une activité nucléaire au sens de la réglementation) doit être considéré comme radioactif à partir du moment où il est susceptible d'avoir été mis en contact avec de la contamination radioactive ou d'avoir été activé par du rayonnement. La doctrine française ne prévoit pas une libération inconditionnelle des déchets de très faible activité sur la base de seuils universels. Ceci conduit à une gestion spécifique de ces déchets et à leur élimination dans un stockage dédié.

Parmi les substances radioactives, certaines sont considérées comme des matières valorisables, et d'autres comme des déchets, le cas échéant ultimes.

Le cadre général de la notion de déchet, au sens large, est fixé par le code de l'environnement (art. L. 541-1) : il s'agit de « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Par ailleurs, « est ultime (...) un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

Concernant les matières et déchets radioactifs, le code de l'environnement a été complété par les définitions figurant à l'article 5 de la loi de programme du 28 juin 2006 sur la gestion des matières et des déchets radioactifs : « une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement. Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée. 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. »

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 d'une façon qui donne lieu à une concentration de la radioactivité, sans pour autant que l'on utilise leurs propriétés radioactives.

Les sources naturelles de radiations ionisantes 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 dans l'environnement sont répartis dans tous les compartiments de la biosphère. 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 50 mSv/an dans certaines parties de l'Inde ou du Brésil).

En outre, depuis le début du 20^{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 Electronucléaire : principalement les centrales nucléaires de production d'électricité, les usines de l'amont du cycle du combustible (extraction et traitement du minerai, conversion, enrichissement et fabrication du combustible), et les usines de traitement du combustible usé ;

- le secteur Défense : principalement les activités liées à la force de dissuasion et à la propulsion nucléaire de certains bâtiments, dont certaines activités de recherche ;
- le secteur Recherche : les activités de recherche nucléaire civile ;
- le secteur Industrie non-électronucléaire : notamment l'extraction de terres rares, la fabrication et l'utilisation de sources scellées ;
- le secteur Médical : activités thérapeutiques, de diagnostic médical, et de recherche médicale.

Les secteurs ayant historiquement le plus contribué à la production de déchets radioactifs en France sont les secteurs Electronucléaire, Recherche et Défense (cf. partie 1.1.4 concernant l'inventaire des matières et des déchets radioactifs).

1.1.3. Classification usuelle des matières et déchets radioactifs

Conformément aux définitions précisées dans le paragraphe 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. 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 retraitement. Ces colis de déchets concentrent la grande majorité des radionucléides, 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 retraitement et des activités de maintenance et d'exploitation des usines de traitement. Il s'agit des déchets de structure, les coques et embouts constituant la gaine du combustible nucléaire, conditionnés dans des colis de déchets cimentés ou compactés, ainsi que des déchets technologiques (outils usagés, équipements...), 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 colis de déchets de graphite, provenant principalement du démantèlement des réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz, ont en ordre de grandeur une activité se situant entre dix mille et cent mille Bq par gramme. L'activité à long terme est essentiellement due à des radionucléides émetteurs bêta à vie longue. Les déchets radifères, en majorité issus d'activités industrielles non-nucléaires (comme le traitement de minéraux contenant des terres rares), sont principalement constitués de radionucléides émetteurs alpha à vie longue et possèdent une activité comprise entre quelques dizaines de Bq par gramme et quelques milliers de Bq par gramme.
- les déchets de faible activité et moyenne activité à vie courte (FMA-VC), essentiellement issus de l'exploitation 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 biomédicale. L'activité de ces déchets se situe entre quelques centaines de Bq par gramme à un million de Bq par gramme.
- les déchets de très faible activité (TFA), majoritairement issus de l'exploitation de maintenance et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du

combustible et des centres de recherche. Le niveau d'activité de ces déchets est en général inférieur à 100 Bq/g.

Cette classification permet schématiquement d'associer aux différentes catégories de déchets des filières de gestion à long terme, qui seront développées plus en détail dans les parties suivantes. Le tableau ci-après les présente de manière synthétique.

	Vie Très Courte (période < 100 jours)	Vie Courte (période ≤ 31 ans)	Vie Longue (période > 31 ans)
Très Faible Activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production puis élimination dans les filières conventionnelles	Stockage de 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)	Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
Moyenne Activité (MA)			
Haute Activité (HA)		Stockage profond (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

Il est à noter qu'il n'existe pas de critère de classement unique permettant de déterminer la catégorie d'un déchet : en complément de l'activité globale d'un déchet, il est nécessaire d'étudier la radioactivité de chacun des radionucléides présents dans le déchet.

En outre, cette classification, reposant uniquement sur le niveau d'activité et la période des radionucléides contenus dans les déchets, n'est pas suffisante pour déterminer précisément le mode de gestion approprié à un type particulier de déchet. Les caractéristiques physiques et chimiques des déchets, ainsi que leur origine, doivent en effet également être prises en compte.

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).

Publié en juin 2009, l'inventaire national 2009¹ présente les stocks de déchets et de matières à fin 2007 ainsi que des prévisions à fin 2020, à fin 2030, et à l'issue de la durée de vie des installations existantes ou autorisées². Cet inventaire présente également les capacités d'entreposage pour les déchets HA, MAVL, FAVL radifères et tritiés, ainsi que les besoins d'entrepôts pour les déchets HA et MAVL relevant du stockage profond. Enfin, l'inventaire présente les stocks de matières radioactives, les sites pollués par la radioactivité et des éléments d'information sur les sites de stockage de résidus miniers³.

Concernant les déchets radioactifs, les bilans à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 ainsi que le bilan des déchets « engagés » sont présentés ci-dessous pour chaque filière de gestion. Les quantités de

¹ Disponible sur www.andra.fr

² Réacteurs existants, EPR en cours de construction à Flamanville, usine de La Hague, installations du CEA civiles et défense...

³ Les sites miniers et résidus associés sont présentés dans l'inventaire MIMAUSA tenu à jour par l'IRSN.

déchets radioactifs sont indiquées en m³ équivalent conditionné (volume du déchet une fois celui-ci conditionné).

(en m ³ équivalent conditionné)	VOLUMES EXISTANTS à fin 2007	VOLUMES EXISTANTS à fin 2020	VOLUMES EXISTANTS à fin 2030	DECHETS « ENGAGES » ⁴
HA	2 293	3 679	5 060	7 910
MA-VL	41 757	46 979	51 009	65 300
FA-VL	82 536	114 592	151 876	164 700
FMA-VC	792 695	1 009 675	1 174 193	1 530 200
TFA	231 688	629 217	869 311	1 560 200
TOTAL	1 150 969	1 804 142	2 251 449	3 328 310

Nota : les volumes de déchets HA incluent 74m³ de combustibles usés. A fin 2007, la filière de gestion de 1 564 m³ de déchets radioactifs reste à définir, soit parce qu'ils se présentent sous une forme chimique ou physique qui ne permet pas de les associer à une filière de gestion existante ou en projet, soit parce qu'aucun mode de traitement n'est envisagé pour le moment. Par souci de cohérence avec l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs 2009, il a été choisi de reprendre les estimations de cet inventaire concernant les volumes prévisionnels à fin 2020 et fin 2030. Ces estimations comportent un grand nombre de chiffres significatifs en raison de la méthodologie adoptée. Les volumes de déchets futurs ne peuvent toutefois naturellement pas être anticipés au m³ près, notamment parce que certaines modalités de conditionnement devront être précisées ultérieurement.

La répartition du volume de déchets radioactifs à fin 2007 par filière de gestion est ainsi indiquée en Figure 1.

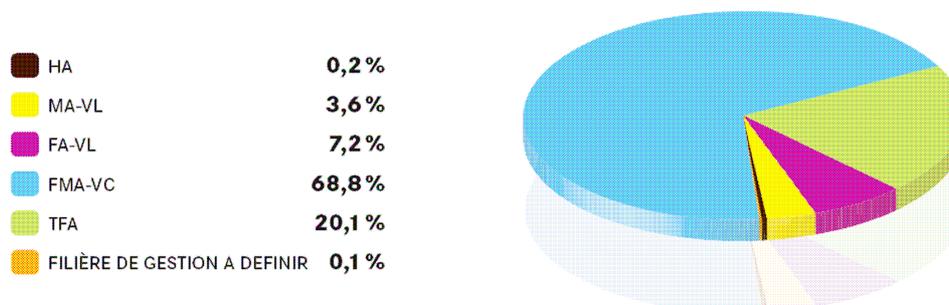


Figure 1. Volumes de déchets radioactifs à fin 2007, par filière de gestion, en m³ équivalent conditionné

Ces bilans quantitatifs ne prennent pas en compte :

- les résidus de traitement de minerais d'uranium, stockés sur place de façon définitive⁵ ;
- les déchets en « stockage historique » répartis sur 23 sites - hors sites miniers. Sur ces sites se trouvent stockés de façon définitive des déchets qui ne sont pas sous la responsabilité de l'Andra. Sont ainsi recensés, 12 sites correspondant à des stockages de déchets conventionnels, 8 sites généralement à proximité d'installations nucléaires ou d'usines où par le passé ont été stockés, en buttes, remblais, lagunes, des déchets radioactifs, ainsi que 3 sites de la Polynésie française (Mururoa, Fangataufa et Hao) sur lesquels ont été stockés les déchets issus des expérimentations nucléaires dans le Pacifique ;
- les substances radioactives se trouvant sur des sites ayant accueilli des activités manipulant la radioactivité et ayant fait l'objet d'un lever de doutes, pour lesquels un assainissement n'est pas nécessaire ;

⁴ Scénario de poursuite de la production électronucléaire

⁵ Les sites miniers et résidus associés sont présentés dans l'inventaire MIMAUSA tenu à jour par l'IRSN

- les déchets immergés en Atlantique en 1967 et en 1969 ;
- les déchets à vie très courte, d'une période inférieure à 100 jours, gérés en décroissance sur le lieu de production avant élimination dans des filières classiques.

Les déchets HA, s'ils ne représentent que 0,2% du volume total comme indiqué sur la Figure 1, concentrent toutefois 95% de la radioactivité (cf. Figure 2).



Figure 2. Répartition de l'activité radiologique à fin 2007 en TBq (soit 10^{12} Bq)

Les secteurs économiques principalement responsables de la production de déchets radioactifs sont les secteurs Electronucléaire, Défense et Recherche. La part respective de chacun des secteurs dépend toutefois fortement du type de déchet considéré : les exemples des déchets HA et TFA sont illustrés sur la Figure 3 et la Figure 4.

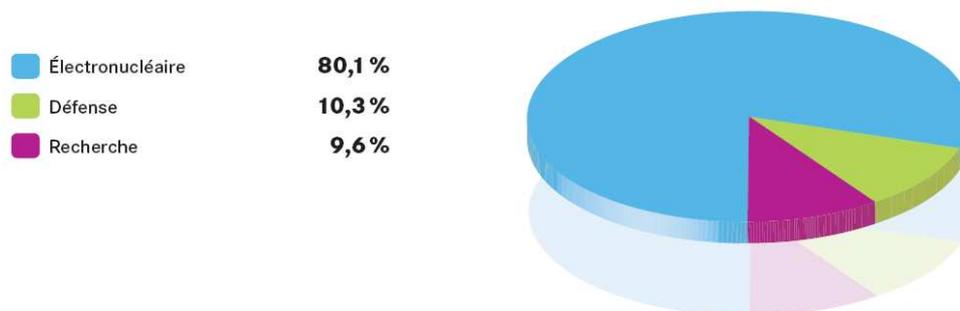


Figure 3. Répartition en volume des déchets HA par secteur économique à fin 2007

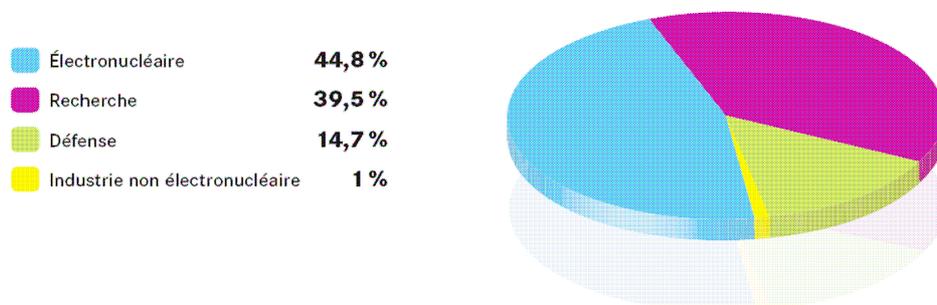


Figure 4. Répartition en volume des déchets TFA par secteur économique à fin 2007

Les principaux propriétaires de déchets radioactifs, par ordre alphabétique, sont AREVA, le CEA, et EDF. Toutefois, là-encore, les parts respectives de ces propriétaires varient en fonction du type de déchet considéré (cf. Figure 5 et Figure 6).

Part EDF	72,4 %
Part CEA/DAM	10,3 %
Part CEA/CIVIL	9,6 %
Part AREVA	7,7 %

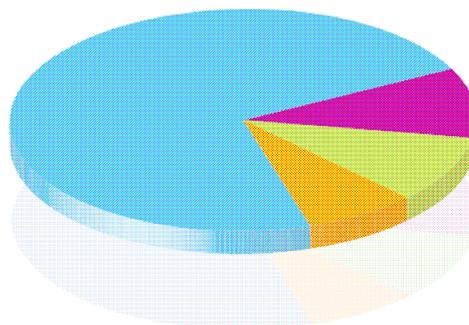


Figure 5. Répartition en volume des déchets HA par propriétaire français à fin 2007

Part CEA/CIVIL	44,2 %
Part EDF	19,7 %
Part AREVA	19,2 %
Part CEA/DAM	13,8 %
Part Autres	3,1 %

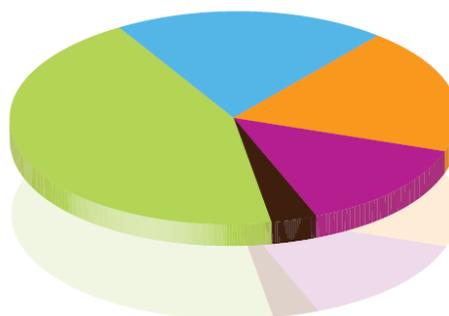


Figure 6. Répartition en volume des déchets TFA par propriétaire à fin 2007

Concernant les **matières radioactives**, le tableau ci-dessous présente les quantités déclarées à fin 2007 ainsi que des prévisions à fin 2020 et fin 2030.

	Fin 2007	Fin 2020	Fin 2030	
Uranium naturel extrait de la mine (en tML)	27 613	32 013	32 013	
Uranium enrichi (en tML)	3 306	1 764	2 714	
Uranium issu de combustibles usés après traitement (tML)	21 180	36 000	49 000	
Uranium appauvri (tML)	254 820	332 324	452 324	
Thorium (t)	9 399	9 399	9 290	
Matières en suspension (t)	21 672	0	0	
Combustibles en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires et dans les réacteurs de recherche (tML)	UOX	4 500	3 860	1 100
	URE	80	290	0
	MOX	290	440	0
	Recherche	5		
Combustibles usés en attente de traitement	UOX (tML)	11 504	13 450	11 000
	URE (tML)	251	1 020	1 320
	MOX (tML)	1 028	2 320	2 550
	RNR (tML)	104	104	104
	Combustibles expérimentaux (t)	42	0	0
	Combustibles de la Défense nationale	141	230	298
Plutonium issu du combustible utilisé après traitement (tML)	82	55	53	

Nota : Là encore, il a été choisi de reprendre les estimations de l'Inventaire national 2009 concernant les volumes prévisionnels à fin 2020 et fin 2030. Ces estimations comportent un grand nombre de chiffres significatifs en raison de la méthodologie adoptée. Les volumes prévisionnels de matières en 2020 et 2030 ne peuvent toutefois naturellement pas être anticipés au m³ près.

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

Les déchets radioactifs doivent être gérés selon les principes suivants, inspirés de la législation générale sur la gestion des déchets (chapitre 1er du titre IV du livre V du code de l'environnement, issu de la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 modifiée relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux) :

- il convient de prévenir et réduire à la source, autant que raisonnablement possible, la production et la nocivité des déchets, notamment par un tri et une ségrégation appropriés ;
- la stratégie de confinement/concentration doit être privilégiée, même si dans certains cas, il peut être admis exceptionnellement de ne pas l'appliquer, sur la base d'une justification appropriée ;
- les transports de déchets sont organisés de manière à limiter les volumes de déchets transportés et les distances parcourues dans le cadre d'une stratégie de gestion donnée ;
- la valorisation des déchets par réemploi ou recyclage doit être favorisée, à condition que cette valorisation ne porte pas préjudice à l'environnement ou à la santé publique ;

- le public doit être informé des effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et de gestion à long terme des déchets.

Afin de définir des solutions de gestion à long terme pour les déchets radioactifs, il est important de prendre en compte un 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 très divers pour des déchets également très divers

Une classification des déchets radioactifs a été retenue dans le décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au PNGMDR. Cette classification identifie en fonction de la nature du déchet (activité et durée de vie) la solution de gestion finale retenue ou envisagée (cf. 1.1.3).

Cette classification conduit dans la pratique à distinguer les déchets très faiblement actifs (TFA), d'une part, et les déchets faiblement, moyennement, et hautement actifs (FMHA) d'autre part. 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 la dose annuelle maximale admissible pour le public en peu de temps, ou par ingestion de faibles quantités, ce qui nécessite de prendre des mesures au moins en termes d'isolement et d'éloignement des déchets, et des précautions de manipulation. Ainsi, pour les déchets ultimes de haute et moyenne activité à vie longue issus du parc actuel (produits de fission et actinides mineurs vitrifiés notamment), il s'est établi un accord quasi-unanime des experts au niveau international, après quinze années de recherche, pour noter que le stockage géologique constitue une solution de gestion sûre et pérenne.

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 chimique. 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 retenue pour les déchets les plus radiotoxiques en attente de traitement et les déchets radioactifs ultimes en attente de stockage) ; existence d'un producteur de déchet identifié et solvable ; filières de gestion retenues par le passé pour certaines catégories de déchets pas toujours conformes aux exigences réglementaires actuelles mais sur lesquelles il n'est pas toujours pertinent d'intervenir. 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 les paragraphes suivants).

Une gestion spécifique doit également être définie pour le cas où le propriétaire d'un objet n'a pas conscience qu'il s'agit d'un déchet radioactif. C'est le cas, en particulier, d'objets radioactifs historiques détenus par des particuliers ou de petites collectivités (kits éducatifs, objets au radium, paratonnerres...), et parfois à leur insu. Dans ce cas, une première étape est une prise de conscience par le propriétaire. Une subvention publique permet la prise en charge gratuite ou significativement aidée des objets radioactifs. Les services de l'Andra gèrent les demandes suivant deux critères : la

qualité du détenteur et la nature des objets. La gratuité est réservée par ordre de priorité aux particuliers et 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 essentiellement 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 sur l'ensemble des filières de gestion.

1.2.2. Un nombre important de paramètres à optimiser pour chaque mode de gestion

L'optimisation d'une filière de gestion des déchets, quand elle existe, doit sans cesse être recherchée. Plusieurs critères doivent alors être pris en compte, dont les principaux sont les suivants.

Réduire le volume des déchets destinés au stockage

Les stockages de déchets radioactifs sont des ressources rares, présentant des capacités limitées et qu'il convient donc 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 le producteur de déchets d'une étude dite « étude déchets » qui intègre cet objectif. Cette étude doit contenir un zonage déchets distinguant entre zones à déchets nucléaires et zones à déchets conventionnels qui 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 pour permettre la réduction de la quantité de déchets produits.

La gestion des déchets radioactifs doit donc débiter 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 (déchets radioactifs solides), incinérés ou fondus (déchets radioactifs liquides). Créée en 1999, l'usine Centraco (Centre nucléaire de traitement et de conditionnement) permet notamment le traitement des déchets liquides de faible activité des centres de recherche et des petits producteurs tels que les hôpitaux.. Cette installation concourt à réduire les volumes de déchets adressés au CSTFA. Le PNGMDR ne peut donc qu'encourager les producteurs à poursuivre leurs efforts déjà engagés sur l'évolution des solutions de traitement et des modes de conditionnement qui permettent de réduire les volumes de déchets⁷.

Une réflexion sur les matériaux introduits dans les déchets est également utile. Par exemple, elle peut permettre de limiter l'introduction, en trop grand nombre, de déchets organiques (telles que des poches en vinyle pour le conditionnement) dont le traitement s'avère difficile et qui sont susceptibles de poser des difficultés pour le stockage de certains déchets.

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 prévues par certains

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, des personnalités qualifiées. Le secrétariat de la CNAR est assuré par l'Andra.

⁷ Voir le chapitre relatif aux évolutions depuis 2006 de l'inventaire national des matières et des déchets radioactifs de l'Andra-Edition 2009

exploitants pour les métaux et sont évoquées au paragraphe 3.3.1. du présent rapport. Les filières sont évidemment plus difficiles à mettre en place puisqu'elles supposent une valorisation dans le secteur nucléaire, conformément à la doctrine française (en cohérence avec l'absence de seuil de libération, voir en particulier le paragraphe 1.2 en annexe indiquant des informations réglementaires).

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 l'instant t. Par ailleurs, l'intégration de ce facteur t 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 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. Le HCTISN exerce également un suivi qu'il partage avec les CLI et l'ANCLI.

S'agissant des déchets du futur, comme les déchets issus de l'exploitation de l'installation ITER ou les déchets 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, gestion des éléments volatils, de l'iode notamment, nouveaux procédés de conditionnement associés au retraitement pyrochimique, conséquences sur l'emprise du stockage...).

A cette fin, le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), évoqué plus en détail dans la partie 1.3.2, constitue un outil utile d'anticipation, de planification et de coordination : il vise notamment à dresser le bilan des modes de gestion existants des matières et déchets radioactifs, à recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage, à préciser les capacités nécessaires ainsi que les durées d'entreposage, et à déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif.

Optimiser le confinement des déchets pour garantir la sûreté de leur gestion

L'objectif de la fabrication d'un colis est de confiner les déchets sous une forme stable, solide, monolithique. Un traitement avant conditionnement est également parfois nécessaire pour assurer une compatibilité, notamment physico-chimique, entre le déchet et la matrice ou le système d'immobilisation retenu pour la constitution du colis. Les principales matrices utilisées de façon industrielle et mises en œuvre depuis de nombreuses années sont notamment le verre et le ciment. Pour certains déchets solides, les galettes compactées (coques et embouts) sont directement empilées dans le conteneur. 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.

La recherche de solutions compatibles avec la gestion à long terme (production de gaz notamment durant la phase d'exploitation du stockage) pour les déchets organiques contaminés par des radionucléides émetteurs alpha sera un axe de travail important. Cet aspect est notamment développé dans le paragraphe 3.3. du présent rapport.

Dans les prochaines années, d'autres types de déchets historiques actuellement entreposés devront faire éventuellement l'objet de traitements pour leur reprise et préalablement à leur conditionnement. C'est par exemple le cas des déchets de gaines de combustible UNGG entreposées à La Hague.

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.

Améliorer la caractérisation des déchets pour garantir la qualité et la traçabilité

Une meilleure connaissance du contenu radiologique et physico-chimique du colis de déchet permet de mieux définir le conditionnement et la filière de gestion. L'obtention d'une meilleure précision dans la détermination des natures et quantités de radioéléments 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.

Minimiser les effluents rejetés en particulier par l'évolution permanente des autorisations

La limite entre le rejet d'effluents et la production de déchets est le résultat d'un processus d'optimisation, propre à chaque installation. Il existe généralement un point en dessous duquel la concentration en radioéléments ou autres substances toxiques dans les effluents ne peut plus vraisemblablement être récupérée. Ce point de fonctionnement, qui est déterminé au cas par cas par un processus d'optimisation, peut faire l'objet de débats, de choix technologiques et évolue généralement à la baisse au fur et à mesure du développement des techniques. Une contrainte au processus d'optimisation est imposée par des textes réglementaires. Par ailleurs, des prescriptions limitent strictement les rejets pour un certain nombre de polluants prioritaires et réglementent en détail les moyens de traitement, d'épuration et de contrôle pour les effluents issus des activités nucléaires ou des activités industrielles. Une étude d'impact est notamment systématiquement exigée pour toute activité conduisant à des rejets dans l'environnement. Cette étude d'impact doit permettre de garantir que l'impact des rejets reste négligeable sur l'environnement. Dans tous les cas, et en particulier lorsque des concentrations manipulées de polluants sont élevées, il est possible de dire que la radioactivité rejetée dans les effluents représente une très faible part de celle qui est fixée dans les déchets, et que par conséquent, il s'agit d'une fraction très marginale de la radioactivité en jeu. Toutefois, dans certains cas la gestion de l'élimination des substances radioactives pourrait être étudiée par la voie des rejets ; ils concernent uniquement des quantités très faibles de radioactivité dans des situations de sites pollués, ainsi que des radioéléments qu'il n'est pas possible techniquement de retenir lors du traitement des effluents, comme le tritium et le carbone 14 sous forme gazeuse, lorsque les activités manipulées sont très faibles. Pour autant, il est demandé aux exploitants de réfléchir aux techniques à mettre en œuvre pour réduire autant que possible les rejets liés à ces activités. En effet, la gestion par rejet doit être minimisée d'une part à cause de phénomènes d'accumulation et d'autre part compte tenu de l'absence de données quant à l'impact des faibles doses chroniques, tant chimiques que radioactives.

Optimiser la dosimétrie des salariés et des populations

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)
- l'optimisation des conséquences (doses)
- la limitation des conséquences (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.

1.3. Le cadre juridique et institutionnel de la gestion des déchets en France

En cohérence avec les principes évoqués ci-dessus, la France s'est dotée d'un cadre juridique et institutionnel pour la gestion des matières et des déchets radioactifs, notamment avec la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

1.3.1. Le cadre législatif et réglementaire

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 : 85% du volume des déchets produits est d'ores et déjà pris en charge dans des centres de stockage en surface gérés par l'Andra. Ces centres sont situés dans les départements de la Manche et de l'Aube ; le site de la Manche a été recouvert et est entré en phase de surveillance tandis que les sites de l'Aube sont en cours d'exploitation.

Les 15% restant, 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 stocker 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 recherche 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 les 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 supposait de développer une nouvelle génération d'usines de traitement et une nouvelle génération de réacteurs nucléaires.
2. L'axe 2 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 à vie courte. Les possibilités de stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs à vie longue ont été étudiées notamment grâce au laboratoire de l'Andra à Bure, à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, dans une couche géologique vieille d'environ 150 millions d'années, profonde et stable.
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 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 et l'examen parlementaire ont ensuite 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 finalement 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, 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 : (i) définition d'une politique de gestion des matières et déchets radioactifs, (ii) amélioration de la transparence et du contrôle démocratique, (iii) dispositions de financement et d'accompagnement économique.

Concernant tout d'abord la *politique de gestion*, la loi fixe les orientations de gestion pour l'ensemble des matières et déchets radioactifs à l'article 6 :

- la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets, notamment la réduction à la source, par le traitement des combustibles usés et, à l'avenir, le cas échéant, par la séparation poussée / transmutation ;
- l'entreposage comme étape préalable, notamment dans la perspective d'opérations de traitement des combustibles et des déchets, ou de stockage des déchets ;
- après l'entreposage, le stockage en couche géologique profonde comme solution pérenne pour les déchets ultimes ne pouvant être stockés en surface ou en faible profondeur.

L'article 6 de la loi prévoit en outre l'élaboration tous les trois ans du présent document, le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). Ce Plan, présenté plus en détail dans la partie 1.3.2, 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 des 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.

La loi définit également un programme de recherche sur la gestion de l'ensemble des matières et des déchets radioactifs (articles 3 et 4). 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, un bilan sera dressé en 2012 entre les différentes filières de transmutation. En

fonction des résultats qui seront obtenus dans le cadre de ce bilan, des prototypes d'installation pourraient être construits à partir de 2020 et un déploiement industriel envisagé à l'horizon 2040.

2. Pour le second axe, relatif aux possibilités de stockage des déchets en couche géologique profonde, la loi de 2006 confirme les orientations prises en 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 procédure d'autorisation de stockage puisse être instruite en 2015 et que la mise en exploitation intervienne, sous réserve que l'instruction préalable soit favorable, en 2025.
3. Le troisième axe a été fortement revu par la loi de 2006, qui abandonne en particulier 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, 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 8 de la loi du 28 juin 2006. 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.

Pour les déchets « orphelins », l'article 14 de la loi du 28 juin 2006 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.

Un Comité local d'information et de suivi (CLIS) est par ailleurs placé auprès du laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne. Suite à la loi de 2006, son fonctionnement a été modifié, sa composition élargie et sa présidence confiée à un élu, national ou local.

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, avant qu'un décret ne puisse autoriser la création du centre de stockage à l'horizon 2015. A plus long terme, seule une loi pourra autoriser la fermeture définitive du stockage.

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 13 et 21) 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 15, 16 et 17) ; 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), la loi impose que chaque industriel constitue des provisions, et affecte des actifs dédiés à leur couverture avant mi-2011. 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). 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 de contrôle. 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.

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, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

	Objet du décret	Article de loi	Date de publication
Politique nationale de gestion des matières et des déchets radioactifs	Définition d'un plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs	Art. 6	16 avril 2008
	Gestion des déchets étrangers et contrats de traitement	Art. 8	3 mars 2008
	Nomination des membres de la CNE	Art. 9	5 avril 2007
	Nature des informations à transmettre pour l'inventaire national et le PNGMDR	Art. 22	29 août 2008
Accompagnement des recherches menées dans le laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne	CLIS	Art. 18	7 mai 2007
	GIPs - Décret générique	Art. 13	14 décembre 2006
	Définition de la zone de proximité - GIP Meuse et Haute-Marne	Art. 13	5 février 2007
	Taxe "accompagnement" : fraction reversée par les GIP aux communes de la zone des 10 km	Art. 21	7 mai 2007
	Coefficient des taxes "accompagnement" et "diffusion technologique"	Art. 21	26 décembre 2007
	Zone de consultation lors de la création d'un stockage	Art. 12	A publier en 2012
Dispositions de financement	Coefficient taxe additionnelle "recherche"	Art. 21	26 décembre 2007
	Sécurisation des charges nucléaires de long terme	Art. 20	23 février 2007
	Mise en place de la CNEF	Art. 20	20 juin 2008

En particulier, la politique de gestion a été précisée par le décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Son article 3 indique que 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 :

1. La cohérence du dispositif de gestion des déchets radioactifs doit être recherchée, de même que son optimisation technique et économique ;
2. Les centres de stockages de déchets radioactifs, peu nombreux et aux capacités limitées, doivent être utilisés au mieux par les différents acteurs ;
3. 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 détenteur 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 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 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite loi TSN) 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 un 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 installations nucléaires de base. 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 sera prochainement révisé et les prescriptions relatives la gestion des déchets dans les INB seront regroupées au sein d'un nouvel arrêté. Une décision de l'ASN viendra compléter les dispositions relatives aux modalités de gestion des déchets produits dans les installations nucléaires de base.

La gestion des déchets radioactifs provenant des installations nucléaires de base secrètes (INBS) est encadrée par un 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 du Délégué à la Sûreté Nucléaire de Défense (DSND) 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 provenant de toutes les activités nucléaires destinées à la médecine, à la biologie humaine ou à la recherche biomédicale 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 sûreté 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.

Au niveau international, la question des déchets radioactifs est traitée notamment au travers de référentiels de sûreté et de radioprotection (élaborés notamment par l'AIEA), et au niveau de divers groupes de travail, notamment 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 d'incitation (Convention commune sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs), dont 51 Etats sont parties, 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 8 de la loi du 28 juin 2006, 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.

1.3.2. Le Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR)

Comme indiqué dans la partie 1.3.1, l'article 6 de la loi du 28 juin 2006 définit les objectifs du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) :

- 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 des 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.

La loi précise que la publication du PNGMDR est triennale, et qu'un décret fixe au plan réglementaire les prescriptions qui en résultent. 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 nécessaires afin de tenir compte des prescriptions de la loi. Une synthèse de ce plan a par la suite été publiée.

Afin de mettre à jour le 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 dernier est composé notamment de producteurs et gestionnaires de déchets, d'associations, de représentants d'élus, d'administrations, de la CNE, du DSND et de l'IRSN. Les nombreuses présentations réalisées au sein du groupe de travail ont constitué une source d'informations très précieuse pour la rédaction du plan.

Cette mise à jour s'appuie également sur l'Inventaire national des déchets radioactifs et des matières valorisables, publié mi-2009 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.

La nouvelle édition repose en outre sur les résultats de l'ensemble des études engagées conformément au décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au PNGMDR.

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 au niveau européen. L'ENSREG (European Nuclear Safety Regulators Group, créé en 2007) a ainsi souligné la nécessité de développer des programmes nationaux de gestion. Le Conseil de l'Union Européenne a également confirmé cette préoccupation : la résolution du 16 décembre 2008 sur la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs indique que "la mise en place par chaque Etat membre d'un plan national de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs est impérative. De tels plans doivent s'inscrire dans le long terme, couvrir tous les types de déchets radioactifs, et décrire toutes les étapes de sa mise en œuvre. Ils doivent au minimum inclure un inventaire des déchets radioactifs et du combustible usé présents sur le territoire et les perspectives futures, examiner les solutions existantes, définir les stratégies de R&D déployées pour l'amélioration des solutions existantes ou le développement de nouvelles solutions, établir un échéancier pour la mise en œuvre de ces solutions, évaluer leurs coûts et leurs modes de financement, décrire le cadre réglementaire et les processus décisionnels pour la mise en œuvre de nouvelles solutions et, enfin, déterminer les sphères de responsabilité. Un tel plan doit être rendu accessible au public, revu et, si nécessaire, révisé régulièrement."

1.3.3. Les acteurs de la gestion des matières et déchets radioactifs

Les producteurs de matières et déchets radioactifs peuvent être regroupés en cinq secteurs économiques (cf. 1.1.2) : électronucléaire, défense, recherche, industrie non-électronucléaire, médical. Au plan de l'inventaire global, trois principaux producteurs de déchets peuvent être mentionnés, comme indiqué dans l'Inventaire national des déchets radioactifs et des matières valorisables 2009 : il s'agit, par ordre alphabétique, d'AREVA, du CEA et d'EDF.

Le gestionnaire des déchets radioactifs en France est un établissement public spécialisé, l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs). Les missions de l'Andra, détaillées dans la loi du 28 juin 2006, comprennent notamment la conception et l'exploitation de centres de stockage, la réalisation d'études et de recherches sur l'entreposage et le stockage en couche géologique profonde, la collecte de déchets radioactifs dont les responsables sont défaillants, et l'information du public.

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 d'un programme de recherche interdisciplinaire, PACEN, Programme sur l'Aval du Cycle et l'Energie Nucléaire), l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), l'IRSN, l'Institut Carnot MINES (Institut Carnot « Méthodes innovantes pour l'entreprise et la société »), ainsi que 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 visent à assurer un niveau d'expertise satisfaisant pour lui permettre de jouer son rôle d'appui technique des autorités de sûreté (ASN et DSND). 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 et/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, de l'énergie, du développement durable et de la mer (MEEDDM), 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, exceptées celles ayant trait à la sûreté nucléaire et à la radioprotection. Egalement au sein du MEEDDM, la direction générale de la prévention des risques (DGPR) 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). Au sein du ministère de

l'enseignement supérieur et de la recherche (MESR), la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRl) 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 le DSND. 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. L'autorité de sûreté nucléaire pour les activités et installations intéressant la défense est le délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense (DSND). Le DSND est placé auprès du ministre chargé de la défense et du ministre chargé de l'industrie. L'IRSN intervient en appui technique aux autorités de sûreté nucléaire.

Au sein du Parlement, l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques peut procéder à des évaluations afin de l'informer 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 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 des scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire) et WISE-Paris (World information service on energy). Des représentants d'élus tels que l'Association des Maires de France sont également parties prenantes à ces travaux. La loi du 28 juin 2006 prévoit en outre qu'un 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 Meuse / Haute-Marne, ainsi qu'au sein des Commissions Locales d'Information, implantées autour des installations nucléaires de base (INB), et regroupées en une Association nationale des CLI (ANCLI).

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.

2. Bilan des filières de gestion existantes et en développement fin 2009

Les filières de gestion existantes et en développement comprennent à fin 2009 :

- l'entreposage d'attente des matières et déchets radioactifs, incluant le mode de gestion par décroissance pour les déchets à durée de vie très courte ;
- la valorisation de certaines matières radioactives comme les combustibles usés, l'uranium, ou le plutonium ;
- la gestion à long terme des déchets au moyen de centres de stockage dédiés aux déchets radioactifs ;
- d'autres modes de gestion existants pour la gestion des déchets radioactifs, notamment le stockage in situ ou dans des centres de stockage conventionnels ;
- des filières en développement pour les déchets tritiés, les sources scellées, les déchets de faible activité à vie longue (FAVL) et les déchets de haute et moyenne activité à vie longue (HA-MAVL).

2.1. L'entreposage d'attente des matières et déchets radioactifs

L'entreposage des déchets radioactifs est une opération qui consiste à les placer temporairement dans une installation aménagée à cet effet pour permettre une mise en attente, un regroupement, un suivi ou une observation. A la différence d'un centre de stockage, les lieux d'entreposages de déchets radioactifs ne sont pas conçus pour assurer des fonctions de sûreté à très long terme mais pour une durée déterminée (en particulier, ils nécessitent un entretien et des interventions humaines ce qui permet de surveiller les colis). Cependant il pourrait en exister sur chaque site de stockage pour pouvoir assurer les contrôles et surtout permettre aux colis d'attendre (refroidissement des verres par exemple) avant leur stockage. Au terme de la période d'entreposage (dépendant de l'ouverture d'un site de stockage), les déchets sont donc obligatoirement retirés de l'installation. Cette dernière sera réutilisée ou démantelée le moment venu. Par ailleurs, les installations d'entreposage présentent des garanties de sûreté proportionnées aux types de déchets qu'elles accueillent. Les entreposages de déchets radioactifs sont de trois types :

- les entreposages de courte durée, liés à la gestion des déchets par décroissance radioactive ;
- les anciens entreposages, qui ne répondent plus parfaitement aux normes de sûreté actuelles et qui nécessitent d'être vidés, à des échéances plus ou moins proches ;
- les entreposages plus récents, qui répondent aux normes de sûreté et dont il faut vérifier l'adéquation aux prévisions de production de déchets.

2.1.1. L'entreposage et la gestion des déchets radioactifs par décroissance radioactive

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 jours. L'objectif est d'attendre que l'activité des déchets ait suffisamment décru pour qu'ils puissent être éliminés vers une filière conventionnelle. Les principaux établissements concernés 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-0095 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008, homologuée par l'arrêté du 23 juillet 2008 et prise en application 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 des radionucléides ou susceptibles de l'être. Les déchets ne peuvent être dirigés vers une filière à déchets non radioactifs 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). Cet arrêté prévoit notamment la mise en place d'un plan de gestion des effluents et 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.

2.1.2. Les anciens entreposages de déchets radioactifs

Cette partie se concentre sur les sites d'entreposage de déchets radioactifs qui ne satisfont plus complètement aux exigences de sûreté actuelles ; des opérations soit de reprise des déchets, soit d'amélioration et de renforcement des installations d'entreposage doivent être programmées. Ces anciens sites d'entreposage concernent des installations classées installations nucléaires de base (INB), des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et enfin des installations nucléaires de base secrètes (INBS).

Les entreposages de déchets radioactifs classés « Installations nucléaires de base » (INB)

Les anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs classés INB comprennent des installations de la société AREVA à la Hague et des centres de recherche du CEA (Cadarache, Saclay, Grenoble et Fontenay) ainsi que des installations appartenant à EDF. Les déchets entreposés dans ces installations ont vocation à faire l'objet d'opérations de reprise. Toutefois, ces dernières peuvent parfois être difficiles à conduire et ne sont pas toujours menées de manière aussi prioritaire qu'elles devraient par les exploitants concernés ; cela entraîne des retards fréquents par rapport aux échéances annoncées.

L'enjeu principal dans les prochaines années est de veiller au respect des engagements notamment en termes de délais et de s'assurer que, dans l'attente d'un désentreposage complet, le niveau de sûreté des installations reste acceptable. Le rapport de l'ASN⁸ remis le 23 septembre au Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTSIN) relatif aux anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs dresse un état des lieux complet des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs. Les principaux éléments du rapport sont repris ci-après.

Les anciens sites d'entreposage d'AREVA à la Hague

Contrairement à ce qui a été réalisé pour les usines nouvelles d'UP2 800 et UP3 A, les usines anciennes de la Hague (UP2 400 et STE2) n'avaient pas été pensées de façon à permettre le conditionnement en ligne de leurs déchets. La majeure partie de ces déchets a donc été entreposée, sans conditionnement définitif, dans l'attente de leur reprise et de leur traitement dans une filière nucléaire.

Les boues de la station de traitement des effluents STE2

De 1966 à 1997, le traitement des effluents du site de La Hague était réalisé dans l'installation STE2, par co-précipitation chimique. De ce procédé, restent 9300 m³ de boues entreposées dans des silos.

Les silos HAO et SOC

Les silos HAO (880 t de déchets) et SOC (1220 t) contiennent différents déchets constitués par des coques et des embouts, des fines (poussières provenant essentiellement du cisailage), des résines et des déchets technologiques issus de l'exploitation de l'atelier HAO (UP2 400) entre 1976 et 1997.

Les principaux enjeux de sûreté liés à l'entreposage de ces déchets sont l'absence de contrôle possible de l'étanchéité du cuvelage, la pyrophoricité de certains déchets (risque d'incendie en cas de dénoyage) et éventuellement la criticité.

⁸

Voir également l'avis du HCTSIN 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 à l'adresse suivante : www.hctisn.fr

Le silo 130 :

Le silo 130 contient des déchets issus du traitement des combustibles de la filière UNGG. La masse de déchets entreposés est de 650 t, dont environ 480 t de graphite.

Les déchets alpha du bâtiment 119

Une stratégie globale a été mise en œuvre par l'exploitant afin de traiter en priorité les fûts de déchets alpha existants qui sont actuellement entreposés dans le bâtiment 119, dont la sûreté n'a pas été jugée pleinement satisfaisante à l'égard des risques sismiques et d'incendie.

Les anciens sites d'entreposage d'EDF

L'essentiel des déchets anciens entreposés par EDF sont des déchets de graphite dont la reprise est conditionnée à la disponibilité d'un exutoire, stockage après entreposage éventuel pour ces déchets.

Les silos de Saint-Laurent

Les silos d'entreposage de Saint-Laurent (INB n°74) contiennent principalement des chemises de graphite irradiées, avec ou sans fils de selle. Compte tenu du report des opérations de reprise des déchets entreposés dans ces silos, en attendant la création d'une filière de stockage de déchets de faible activité et à vie longue, et de la difficulté de démontrer le maintien de l'étanchéité de ces silos dans la durée (Le niveau de sûreté des silos ne satisfait pas aux critères actuels en ce qui concerne le comportement de la structure de génie civil notamment sous l'effet d'un séisme), EDF prévoit de mettre en place une enceinte géotechnique autour de cette installation. Cette enceinte, complétée par un dispositif de pompage de la nappe « intérieure », empêcherait le contact entre la nappe phréatique et le radier des silos.

Les buttes de Bugey

Lors des travaux de reconnaissance des terrains en vue d'implanter l'installation d'entreposage ICEDA sur le site du Bugey en 2006, EDF s'est interrogé sur la présence éventuelle de déchets dans deux buttes constituées principalement de remblais et situées au sud de la centrale nucléaire. Une enquête interne a permis de reconstituer l'histoire des buttes, dont l'origine remonte aux travaux de terrassement du site en 1965. Elles contiennent des anciens résidus de chantier des réacteurs à eau pressurisée, mais également des résines très faiblement radioactives ayant servi à purifier les circuits de refroidissement du réacteur. L'historique montre que ces résines, produites à partir de 1979, ont été d'abord entreposées pour décroissance, avant d'être déversées dans la zone des buttes en 1983, après vérification de la suffisance de leur décroissance. Des analyses ont montré que ces buttes n'étaient toutefois pas à l'origine de contamination de la nappe phréatique au droit du site. A partir de 1983, les résines ont été entreposées avant d'être éliminées vers une filière nucléaire.

Les anciens sites d'entreposage du CEA

Le Centre de Cadarache

- *L'INB 22-PEGASE*

PEGASE est un ancien réacteur expérimental mis à l'arrêt définitif en 1980. Cette installation est désormais utilisée pour l'entreposage d'éléments combustibles sous eau dans la piscine et les bassins de l'enceinte étanche du réacteur ainsi que pour l'entreposage de plus de 2700 fûts de sous-produits plutonifères. Compte tenu de l'ampleur des travaux nécessaires aux renforcements sismiques de l'installation pour permettre la poursuite de l'exploitation de PEGASE, le CEA a proposé en décembre 2004 un arrêt définitif de l'installation et une évacuation des fûts et des Combustibles usés. L'exploitant a néanmoins réalisé des travaux d'amélioration de la sûreté de l'installation notamment pour ce qui concerne le risque incendie et le confinement dynamique des locaux d'entreposage des fûts plutonifères.

- *L'INB 56- Le parc d'entreposage de Cadarache*

Le Parc d'entreposage de déchets radioactifs (INB n°56), situé à Cadarache, est une installation mise en service en 1963 et dont la mission était d'assurer l'entreposage des déchets solides radioactifs provenant du fonctionnement ou du démantèlement d'installations du CEA. Les déchets y sont entreposés en fosses bétonnées pour les plus irradiants ou dans des hangars. Des éléments

combustibles irradiés ont également été entreposés en piscine mais ont été évacués en 2004. Une partie du Parc d'entreposage est également constituée de 5 tranchées, remplies entre 1969 et 1974, avec différents déchets solides de faible et de moyenne activité, puis recouvertes de terre. Dans le cadre de l'assainissement et de la réhabilitation du site, la reprise de l'ensemble des déchets a été demandée. Pour ce qui concerne les tranchées, la reprise a débuté en 2005 mais les opérations de reprise de certains déchets ont été différées à de nombreuses reprises. Le projet FOSSEA prévoit la reprise et le reconditionnement de l'ensemble des colis entreposés dans les fosses pour un entreposage à CEDRA, après caractérisation complémentaire et reconditionnement éventuels. Le CEA s'est engagé à débiter le désentreposage de la fosse dite F3 et à reprendre dans un premier temps les fosses F5 et F6 La reprise des autres fosses devrait intervenir ultérieurement. Les colis de déchets présents dans les hangars sont, soit en cours d'évacuation vers CEDRA, soit en attente d'expédition vers le CSA.

Le Centre de Saclay

- *L'INB 35 - STEL*

La Zone de gestion des effluents liquides radioactifs (ZGEL), dite aussi STEL, assure la collecte, l'entreposage et le traitement des effluents aqueux de faible activité ainsi que l'entreposage de concentrats aqueux et organiques anciens. L'installation STELLA doit être prochainement mise en service pour remplacer l'ancien évaporateur et le procédé de bitumage des concentrats par un procédé de cimentation afin de permettre la reprise du traitement des effluents du centre. Concernant les entreposages de concentrats anciens présents sur l'INB 35, la vidange des cuves MA 501 à MA 507 et les premiers transferts de la phase organique de la cuve MA 508 sont en cours d'examen par le CEA ; et doivent être évacués avant fin 2013).

- *L'INB 72 - STDS*

La Zone de gestion des déchets solides assure le traitement, la caractérisation et l'entreposage des résidus solides radioactifs produits par les réacteurs, laboratoires et ateliers du Centre de Saclay. Elle assure également la reprise de déchets en provenance de petits producteurs (sources, liquides scintillants, résines échangeuses d'ions) et l'entreposage de sources radioactives sans emploi. Le CEA prévoit un arrêt d'exploitation de cette installation d'ici 2017. La stratégie actuelle du CEA vise à diminuer le terme source présent dans l'installation en assurant la reprise des anciens entreposages de combustibles en piscines, en massifs et en puits.

Le Centre de Grenoble

En 2000, il a été décidé de dénucléariser le centre CEA de Grenoble qui avait été inauguré en 1959 en raison de la forte proximité de l'agglomération, de la diminution des besoins en recherche et développement et du vieillissement des installations. Les six installations nucléaires de base du site sont donc passées progressivement en phase de fin d'exploitation puis de démantèlement pour aboutir à leur déclassement. Le déclassement total du site est programmé à l'horizon de 2015. Parmi les 6 INB du Centre, l'INB79 est un entreposage de décroissance de conteneurs de déchets de moyenne activité. Cet entreposage, situé en fosse, est constitué de 63 puits verticaux. Depuis 2005, aucun déchet de producteur primaire n'y a été entreposé, les seuls déchets autorisés à être réceptionnés dans les puits sont ceux issus du tri ou du reconditionnement de déchets de l'INB 79.

Le Centre de Fontenay

En 1999, le CEA a entrepris de « dénucléariser » le centre de Fontenay-aux-Roses, qui est le premier centre de recherche nucléaire français, en raison de sa forte proximité de Paris et de l'ancienneté de ses installations de recherche. Un programme d'assainissement du site et des deux INB présentes a été élaboré. Parmi ces installations, le site de Fontenay aux Roses compte un entreposage de déchets radioactifs irradiants de moyenne et haute activités générés par les activités du site. Cet entreposage comprend 128 puits permettant de recevoir 1536 fûts de 50 litres, 40 puits permettant de recevoir 243 fûts de 200 ou 220 litres et 10 alvéoles (volume global 132 m³) destinés à la réception d'emballages de déchets divers. Les déchets doivent être évacués dans le cadre du projet de démantèlement des INB du site.

Les entreposages de déchets radioactifs classés « Installations nucléaires de base secrètes» (INBS)

Certaines installations nucléaires de base classées secrètes (INBS) entreposent des déchets radioactifs "historiques", tous destinés à être évacués à terme vers les centres de stockage de l'ANDRA. Ces entreposages sont recensés dans l'inventaire national établi par l'ANDRA.

Les programmes d'assainissement des installations et les transferts de déchets entreposés vers des stockages définitifs sont suivis par le DSND. Le rapport du DSND⁹ remis le 23 septembre au Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTSIN) relatif aux anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs dresse un état des lieux complet des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs sur les INBS. Les principaux éléments du rapport sont repris ci-après.

Concernant l'INBS de Marcoule, les activités de retraitement des combustibles usés ont été arrêtées en 1997. Les installations sont en cours d'assainissement et de démantèlement et les opérations de conditionnement et de reconditionnement des déchets anciens sont en cours. Il existe à Marcoule plusieurs installations d'entreposage dont les principales sont :

- Les 5 fosses de l'atelier AVM pour les déchets vitrifiés,
- Les 14 casemates de l'atelier STEL pour les déchets de traitement d'effluents : boues bitumées en fûts de 230 litres,
- Les fosses et bâtiments de la zone nord,
- L'EIP, entreposage récent pour les fûts de boues bitumées surconteneurés en fûts de 380 litres dans le cadre du programme de reprise des fosses zone nord et des casemates de la STEL,
- Les fosses du Dégainage et de MAR400 pour les déchets de structure de combustible et pour les déchets de procédé,

Concernant l'INBS de Pierrelatte, les déchets résultant des activités de production et de démantèlement sont évacués vers les filières existantes (CSTFA, CSA et CENTRACO) et ne sont pas entreposés durablement sur le site. Il existe deux anciens entreposages de déchets : la « butte » et les fosses de la zone nord. La « butte » contient des barrières de diffusion gazeuse, des déchets technologiques, des fluorines et des boues inactives riches en chrome. Les fosses de déchets de la zone nord, au nombre de douze, contiennent des gravats de déconstruction de bâtiment légèrement contaminés issus de l'assainissement de locaux abritant des activités de recherche du CEA. Les modalités de reprises des déchets de la butte et des fosses sont précisées au paragraphe 3.1.1.

Concernant l'INBS de Valduc, les déchets produits et entreposés se divisent en deux grandes catégories : les déchets alpha et les déchets tritiés. Le stock de déchets alpha est en cours de résorption et les déchets non compatibles avec les spécifications des filières de stockage existantes sont évacués vers le site de Cadarache pour entreposage, en attente de l'ouverture des nouveaux stockages de l'ANDRA. Pour les déchets tritiés, l'absence de filière d'élimination opérationnelle conduit à une augmentation continue des stocks entreposés (cf. paragraphe 2.5.1)..

Concernant l'INBS de Valduc, les déchets produits et entreposés se divisent en deux grandes catégories : d'une part des déchets tritiés de faible et moyenne activité destinés à un centre de stockage de surface voire à une filière de recyclage, et d'autre part des déchets alpha. Les déchets alpha MAVL sont évacués vers le site de Cadarache pour entreposage dans l'attente de l'ouverture des nouveaux stockages de l'Andra. Les déchets tritiés sont, en l'absence d'exutoire, détritiiés dans une installation spécifique pour les plus actifs et entreposés. L'absence d'exutoire conduit à une augmentation lente mais continue du volume de déchets entreposés.

⁹

Voir également l'avis du HCTSIN 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 à l'adresse suivante : www.hctisn.fr

Les sites d'entreposage de déchets radioactifs classés installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Le site de RHODIA à la Rochelle

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 appelées « cellules thorium ») et les déchets RSB sur le site de Rhodia à la Rochelle, dans un bâtiment (BAT135).

Conformément à son arrêté d'autorisation, Rhodia réalise des mesures de débit de dose en limite de site, des mesures d'activité dans les eaux pluviales, des mesures de rejets en radon. L'évaluation de la dose pour une personne du groupe de référence le plus exposé est de l'ordre de 0,4 mSv par an. Rhodia réalise également un suivi radiologique de la nappe phréatique au droit du site selon les modalités d'un arrêté préfectoral du 30 juin 2006. Le suivi de la nappe au droit des stockages n'a pas révélé d'impact dû au thorium mais un très léger marquage à l'uranium (30 µg/l) a été mis en évidence pour certains piézomètres. Il n'y a toutefois pas de captages en eau potable dans cette nappe.

Le site de l'entreprise CEZUS à Jarrie

Cézus, filiale d'AREVA NP, gère toutes les étapes de la métallurgie du zirconium, de la conversion du zircon (le minerai d'origine), jusqu'à la production d'une grande variété de produits à base de zirconium (tubes en alliage de zirconium, barres et feuillards pour réacteurs nucléaires). Sur le site de Jarrie, Cézus produit environ 2 200 tonnes d'éponge de zirconium par an. Le procédé de fabrication de l'éponge de zirconium génère différents types de déchets à radioactivité naturelle renforcée :

- Des déchets radifères pour une production annuelle de 150 tonnes. Ces déchets sont inclus dans l'inventaire réalisé pour le futur centre de stockage FAVL. Ils sont actuellement entreposés sur le site de Jarrie (stock actuel d'environ 2 000 tonnes), dans un bâtiment dédié composé de six alvéoles de 1 000 m² munies chacune de cuvettes de rétention. Les déchets sont ensachés puis conditionnés dans des fûts métalliques de 220 litres entreposés sur des palettes plastiques sur trois niveaux. Le bâtiment est dimensionné pour assurer un entreposage jusqu'en 2015. Jusqu'en 1991, ces déchets (2 100 tonnes au total) ont été stockés dans le centre de stockage de classe 2 de déchets non dangereux de Vif dans l'Isère. Les alvéoles dans lesquelles ont été stockés ces déchets sont bien identifiées. Une surveillance du site a été mise en place : les mesures (radium dans l'eau et radon) ne montrent pas d'impact radiologique du stockage.
- Des boues très faiblement radioactives issues de la station de traitement des effluents pour une production annuelle de 800 à 900 tonnes. Ces boues sont entreposées en vrac dans un bâtiment disposant d'une surface étanche avec drainage et récupération des lixiviats avant élimination vers le centre de stockage de classe 1 de déchets dangereux de Bellegarde dans le Gard, sur la base de la circulaire du 25 juillet 2006 sur l'acceptation de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée dans les centres de stockage de déchets.
- Des tubes de chloration graphite pour une production annuelle d'environ 10 t. Une partie (86 m³) a été éliminée au centre de stockage de Morvilliers exploité par l'Andra (CSTFA) en 2007 (correspondant à plusieurs années de production). Le stock restant devrait être éliminé en 2009 au CSTFA.
- Des tubes inox du sublimateur pour une production annuelle d'environ 10 t. L'industriel envisage de les décontaminer et, en fonction de leur activité radiologique à l'issue de la décontamination, soit de les recycler chez un industriel soit de les éliminer comme déchets dans un centre de stockage de déchets dangereux ou au CSTFA.

Les résultats des mesures réalisées dans le cadre de 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 sont proches ou inférieures aux limites de détection des méthodes utilisées.

Le site de COMURHEX à Malvési

Le cycle du combustible débute avec l'extraction du minerai d'uranium puis sa conversion par la société Comurhex en UF₄ à Malvési, puis en UF₆, à Pierrelatte, en vue de son enrichissement isotopique en uranium 235. L'essentiel des effluents liquides est généré lors de l'étape de purification des minerais sur le site de Malvési. Ces effluents sont dirigés après neutralisation vers une aire de traitement par lagunage, située sur le site et couvrant une vingtaine d'hectares, qui comprend des bassins de décantation et d'évaporation. Les bassins d'évaporation fonctionnent comme des marais salants, laissant s'évaporer l'eau naturellement sous l'action du soleil et du vent.

L'établissement Comurhex de Malvési possède 11 bassins de lagunage :

- 5 bassins de décantation-évaporation contenant ou ayant vocation à contenir des dépôts solides après décantation des effluents issus des procédés de l'installation ;
- 6 bassins d'évaporation ayant vocation à ne recevoir que la fraction liquide des effluents.

Actuellement, environ 300 000 tonnes de boues sont entreposées sur le site, principalement dans les bassins B1 et B2. Ces boues ont une activité massique, principalement en ²³⁰Th, de l'ordre de 200 Bq/g. Des radionucléides artificiels sont également présents dans les bassins B1 et B2 du fait d'activités industrielles passées de l'installation. L'exploitant estime que les résidus de l'ancienne mine de soufre, situés sous les bassins B1 à B6 et dont le volume est estimé à environ un million de m³, sont probablement en partie contaminés. Par ailleurs, la reprise des nitrates concentrés dans les bassins B7 à B12 devrait générer plus de 75 000 tonnes de résidus.

Des investissements importants sont prévus pour la période 2008-2015: ils visent une modernisation de l'établissement de Malvési (projet Comurhex II) et un traitement des effluents des lagunes (devenir de la zone lagunaire et en particulier, traitement des 100 000 tonnes de nitrates présentes dans les bassins d'évaporation). Concernant les effluents liquides, les nouvelles installations prévues dans le cadre du projet Comurhex II devront permettre d'évaporer une partie des effluents et recycler l'acide nitrique ce qui réduira le volume des effluents à évaporer et la quantité de nitrates produite. L'installation de traitement par évaporation des effluents liquides devrait permettre une réduction d'un facteur 2 du volume d'effluents liquides mis en lagune. La masse de résidus envoyés dans les bassins de décantation ne sera pas modifiée.

Des études radioécologiques menées en 2007 et en 2008 par l'IRSN font apparaître un marquage des sols et des végétaux prélevés à proximité du site sous les vents dominants ainsi que des canaux et bassins situés en aval des points de rejets actuels et historiques. Les calculs réalisés par l'IRSN pour évaluer les doses reçues dans l'environnement de l'usine par ingestion de produits marqués montrent que ces doses sont essentiellement dues aux radionucléides naturellement présents (potassium 40).

AREVA mène actuellement des études pour définir et mettre en place des solutions permettant de limiter l'impact environnemental de l'entreposage. Ces études doivent être finalisées début 2010 pour être soumises à l'approbation des autorités.

2.1.3. Les entreposages de matières valorisables

Cette partie décrit les entreposages de matières valorisables ; les perspectives de valorisation de ces matières sont quant à elles présentées au 2.2 et 3.2.

Le processus d'enrichissement en isotope 235 de l'uranium met en œuvre de l'uranium sous forme d'hexafluorure (UF₆). Cette forme chimique est utilisée pour ses propriétés physiques qui permettent

une utilisation de ce dernier à l'état gazeux à des conditions de pressions et températures en accord avec les contraintes techniques des procédés d'enrichissement utilisés (diffusion gazeuse et centrifugation).

L'hexafluorure d'uranium est conditionné exclusivement en conteneurs spécifiques normalisés ; ce mode de conditionnement est utilisé dans l'ensemble des installations, et pour chacune des activités, où l'uranium est sous forme d'hexafluorure, à savoir :

- alimentation en uranium naturel et soutirage de l'uranium enrichi, ainsi que l'uranium appauvri, des usines d'enrichissement ;
- entreposage de l'uranium sur les parcs des usines d'enrichissement et de leurs installations connexes (installations d'ajustement isotopique, d'échantillonnage de la matière, de préparation des expéditions de la matière vers les clients électriciens) ;
- transports de matière vers les clients ou prestataire de services.

L'uranium appauvri issu des usines d'enrichissement, en attente de valorisation (cf.2.2), est appelé à être entreposé pendant une durée plus importante. Afin de simplifier la gestion de la sûreté des installations d'entreposage d'uranium appauvri, il a été choisi de le transformer en une matière solide, stable, incombustible, insoluble et non corrosive, un oxyde d'uranium (U_3O_8), qui se présente sous la forme d'une poudre noire. Cet oxyde est comparable à l'oxyde d'uranium naturel présent dans les gisements exploités. Cette opération est réalisée dans l'usine de défluoration d'AREVA NC à Pierrelatte.

Cet uranium appauvri sous forme d' U_3O_8 est conditionné dans des conteneurs métalliques scellés d'une contenance moyenne de l'ordre de 7 tonnes d'uranium. Ces conteneurs peuvent être entreposés sur deux sites. De l'ordre de 130 000 tonnes d'uranium, sous forme d' U_3O_8 , sont entreposées sur le site du Tricastin, soit dans des bâtiments dédiés à l'entreposage de l'uranium appauvri, soit dans des bâtiments d'entreposage de l'uranium de recyclage où ils contribuent à l'atténuation du débit de dose gamma issu de l'uranium de retraitement. Le reste, environ 100 000 tonnes, est entreposé dans des bâtiments dédiés sur le site de Bessines. Ces bâtiments assurent une protection vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, vent, etc.) et limitent les interventions de l'opérateur industriel à des opérations de contrôle et de surveillance. Ce choix industriel permet, globalement sur l'ensemble du processus, de limiter l'exposition aux rayonnements ionisants des intervenants.

L'uranium de retraitement (URT) est conditionné dans les usines de traitement-recyclage (La Hague et anciennement Marcoule) sous forme de nitrate d'uranyle. Pour la part qui n'est pas réenrichie (cf 2.2), le nitrate fait l'objet d'une dénitration et d'une oxydation, afin de le transformer en oxyde U_3O_8 stable pour faciliter son entreposage. Cette étape de conversion est effectuée à Pierrelatte. L'uranium de retraitement est ensuite conditionné sous forme d' U_3O_8 dans des emballages métalliques de 220 L, d'une contenance moyenne de l'ordre de 250 kg d'Uranium. Ces conteneurs sont entreposés sur le site, à Pierrelatte, dans des bâtiments d'entreposage spécifiques. Environ 21 000 tonnes d'URT sont aujourd'hui entreposés, sous cette forme, à Pierrelatte.

Au total, en tenant compte des diverses formes chimiques (U_3O_8 et UF_6), 254 820 tonnes d'uranium appauvri étaient entreposées en France au 31 décembre 2007. A la même date, 21 180 tonnes d'uranium de retraitement étaient entreposées (hors de faibles en-cours de nitrate d'uranyle non convertis à cette date).

Par ailleurs, Rhodia entrepose à la Rochelle :

- des matières en suspension (MES) issues du traitement des effluents chimiques (non radioactifs) mis en place à partir d'août 1994 à la suite de l'arrêt de l'exploitation de la monazite. Les MES titrent en moyenne 25 à 30 % en oxydes de terres rares correspondant à environ 7 000 tonnes d'oxydes de terres rares produites. Le stock de MES entreposé sur le site de La Rochelle au 31 décembre 2007 était de 21 672 tonnes ; le site produit encore actuellement environ 800 tonnes de MES chaque année ;
- des hydroxydes bruts et du nitrate de thorium : ils sont issus du traitement de la monazite avant sa substitution par d'autres matières premières (concentrés chinois) et ont été produits entre 1970 et 1987 pour l'hydroxyde brut de thorium et jusqu'à 1994 pour le nitrate de thorium. Les quantités entreposées sont d'environ 21 700 tonnes sous forme d'hydroxydes bruts, et de

10 700 tonnes sous forme de nitrate. Au total, au 31 décembre 2007, ce stock correspondait à 7 134 tonnes exprimées en équivalent ThO₂ (dioxyde de thorium).

La société Rhodia ne disposant pas à l'heure actuelle de filières de valorisation ou d'élimination pour ses matières et ses déchets, elle doit poursuivre l'entreposage de ces substances sur son site.

Les matières en suspension sont entreposées en vrac sur une aire étanche sous bâche.

Le nitrate de thorium est entreposé dans un bâtiment. L'hydroxyde brut de thorium est quant à lui entreposé sur trois aires, qui ont été longtemps extérieures, mais qui ont fait l'objet de travaux de réaménagement, en vue d'y adjoindre des protections biologiques, sous la forme de plaques de béton et d'un bâtiment en structure métallique, qui participe à la protection des fûts. L'adjonction des protections radiologiques a permis de diminuer l'exposition des travailleurs et de la population. Une faible quantité de l'hydroxyde brut de thorium (2 000 t) est entreposée en vrac dans les cellules thorium.

2.1.4. Evaluation de l'adéquation entre la capacité d'entreposage et l'inventaire prévisionnel des déchets

Le chapitre 3 de l'Inventaire national 2009 des matières et déchets radioactifs évalue, en regard des stocks de déchets à fin 2020 et fin 2030, les capacités d'entreposage pour les déchets pour lesquels la solution définitive est encore à l'état de projet (déchets HA, MA-VL, radifères et tritiés). L'inventaire précise en particulier les capacités totales d'entreposage sur les sites des producteurs, les capacités occupées à fin 2007 ainsi que les capacités des extensions prévues le cas échéant pour couvrir les besoins futurs. En outre, l'annexe 4 de l'Inventaire présente, en regard de ces capacités et des volumes prévisionnels de déchets, une première évaluation des besoins d'entreposage pour les colis de déchets HA et MA-VL sur les sites de production avant la mise en exploitation du stockage profond prévue en 2025. Cette évaluation montre que les installations d'entreposage sur les sites de production devraient permettre, sous réserve de la réalisation des extensions nécessaires, de répondre dès 2015, en termes de capacités et de durées, aux besoins qui sont prévus actuellement et jusqu'à la mise en exploitation du stockage géologique profond prévue en 2025.

Une analyse plus détaillée de l'adéquation entre capacités d'entreposage et volumes prospectifs de déchets est disponible en annexe, essentiellement pour les déchets HA et MAVL. Les points saillants sont résumés ci-dessous.

L'entreposage des colis de déchets HA-MAVL vitrifiés de La Hague

Les trois installations d'entreposage (R7, T7 et E-EV-SE) ont une capacité cumulée de 2 174 m³ qui sera saturée vers 2013. AREVA a entrepris en 2006 l'étude et la réalisation d'une extension d'E-EV-SE qui sera opérationnelle en 2012 et qui portera la capacité à 3 648 m³. D'autres capacités similaires seront nécessaires à partir de 2022 (voir la section 3.1.2). 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 colis de déchets vitrifiés HA-MAVL de Marcoule

La capacité de l'entrepôt de l'atelier de vitrification de Marcoule (665 m³) est suffisante pour accueillir l'ensemble des productions prévues à Marcoule, qui seront complètement achevées avant 2020. La demande de pérenniser l'installation d'entreposage jusqu'à la fin de reprise des colis pour leur mise en stockage géologique profond, lorsque la mise en exploitation du centre le permettra, est en cours d'instruction par le DSND.

L'entreposage des combustibles usés destinés au stockage, sans traitement préalable

Certains combustibles de recherche usés ne seront pas traités et sont destinés au stockage, après conditionnement. A Cadarache, ces combustibles sont progressivement conditionnés en étuis métalliques dans l'atelier STAR et sont entreposés dans l'installation CASCAD qui a été mise en service en 1990, pour une durée d'exploitation prévisionnelle de 50 ans. La partie réservée aux

combustibles civils dans cette installation a une capacité de 4 770 colis. Le volume total des colis de combustibles usés déjà conditionnés représente environ 51,5 m³ (3 090 colis). En 2030, ce conditionnement sera achevé et le volume total sera de 74 m³ (4 374 colis). Sur la base des données aujourd'hui disponibles, la capacité de CASCAD apparaît suffisante pour répondre aux besoins d'entreposage des combustibles non traités jusqu'à sa cessation définitive d'exploitation (CDE).

L'entreposage des déchets de structure compactés de La Hague

L'installation d'entreposage des coques compactées (ECC), mise en service en 2002 pour une durée d'exploitation prévisionnelle de 50 ans, a une capacité de 3 806 m³. Sa conception est modulaire avec une réserve foncière qui permettrait si nécessaire de construire jusqu'à 6 modules équivalents au module existant. La saturation de l'ECC devrait intervenir à l'horizon 2025.

La production des colis de coques et embouts compactés augmentera par la suite avec le début du traitement à l'échelle industrielle des combustibles MOX accumulés, en dilution avec des combustibles UOX et URE.

Une mise en stockage des colis à partir de la mise en exploitation du centre de stockage géologique profond permettrait en principe d'optimiser la capacité d'une extension de l'installation ECC (voir la section 3.1.2). 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 au stockage des colis.

L'entreposage des colis de boues et des déchets technologiques alpha métalliques et organiques de La Hague

Ces colis occupent actuellement un volume de 2 600 m³ environ. Ils sont entreposés dans les halls d'une capacité de 4 760 m³ du bâtiment S de la station STE3, qui a été mis en service en 1987 pour une exploitation prévue jusqu'en 2040. En 2020, le volume atteindra un total estimé à 6 090 m³. Les capacités d'entreposage supplémentaires nécessaires seront apportées par les unités de désentreposage et d'extension de l'entreposage des fûts de bitume D/E – EB, du bâtiment ES qui ont été construites en 1995 pour une exploitation prévue jusqu'en 2040. Cette installation, située dans le prolongement du bâtiment S, a une capacité de 6 426 m³. En 2030, la capacité totale des bâtiments S et ES qui est de 11 186 m³ sera en principe suffisante pour entreposer les productions des colis précédents dont le volume total atteindra 9 533 m³. Les colis de boues et de déchets technologiques alpha conditionnés à la Hague ne génèrent donc pas de besoin de capacité nouvelle d'entreposage avant 2040. S'il est envisageable de mettre en stockage les colis de boues bitumées à cet horizon, des colis de déchets alpha compactés devraient probablement encore attendre en entreposage la décroissance de leur production d'hydrogène de radiolyse, dans une seconde génération d'installation qui serait alors à créer (voir la section 3.1.2).

L'entreposage des colis de déchets solides d'exploitation, de déchets pulvérulents et de coques et embouts cimentées de La Hague

Les installations d'entreposage de déchets solides ont une capacité totale de 14 331 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 11 125 m³ en 2030.

L'entreposage des colis de boues bitumées et de déchets solides sur le site de Marcoule

Les fûts de boues bitumées produits depuis 1996 sont entreposés dans la casemate 14. La part des fûts rattachés à la filière MAVL représentera un volume de 518 m³ à la fin 2014, date de mise en place d'un nouveau procédé de conditionnement des boues par cimentation. Les besoins futurs en entreposage de ces fûts dépendront des perspectives d'exploitation dans le temps de la casemate 14 du site de Marcoule, et de leur mise en stockage.

Dans le cadre de la reprise des 58 000 fûts de boues bitumées produits avant 1996, entreposés dans des fosses de la zone nord et dans les 13 premières casemates de la STEL, une installation d'entreposage intermédiaire polyvalent EIP a été mise en exploitation en 2000 pour l'entreposage de fûts de 380l appelés fûts EIP. Elle est de conception modulaire et comporte actuellement deux

alvéoles¹⁰. La durée d'exploitation aujourd'hui prévue est de 50 ans. Une première étape a consisté à reprendre et surconteneuriser en fûts EIP les 6000 fûts de la zone nord. Actuellement, la reprise des fûts des casemates 1 et 2 est en cours. La saturation de la capacité actuelle de l'EIP est à prévoir à l'horizon 2016, avec un volume de 4 370 m³, soit 11 500 colis (rattachés aux filières MAVL et FAVL). Une nouvelle capacité devra alors être mise en service pour permettre la poursuite du programme de reprise. Il est prévu de construire de nouveaux modules EIP, afin de poursuivre le programme de reprise des anciens fûts de boues bitumées et de permettre le démarrage, dès 2016, du programme de reprise des déchets de procédé et de structure entreposés au Dégainage. L'ensemble de ces colis de déchets (boues et déchets solides) représenteraient en 2025, un volume total de l'ordre de 6600 m³. A partir de cette date, le volume des déchets entreposés à l'EIP pourrait se stabiliser si le flux d'expédition, vers le stockage, atteignait environ 800 m³ par an. Le désentreposage serait envisagé à partir de 2050. L'étude d'une autre stratégie, plus favorable au plan de la gestion de la ressource de stockage, est présentée à la section 3.1.2.

L'entreposage de colis de déchets MAVL hautement irradiants sur le site de Marcoule

Les opérations de démantèlement et de reprise et de conditionnement de déchets anciens et de démantèlement généreront 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) représenteront ainsi 253 m³ environ. Pour répondre à ce besoin, le CEA a prévu de créer l'installation DIADEM, qui sera mise en service en 2014 (voir la section 3.1.2). De plus, cette nouvelle installation permettra d'entreposer des déchets hautement irradiants en provenance d'autres sites du CEA (Fontenay, Saclay, Grenoble).

L'entreposage des colis de déchets faiblement irradiants sur le site de Cadarache

En 2006, le CEA a mis en service à Cadarache les installations de conditionnement et d'entreposage de déchets radioactifs (CEDRA) : deux bâtiments offrent une capacité de 4 450 m³ pour les colis de déchets faiblement irradiants (FI). Fin 2008, le volume occupé dans CEDRA était de 533 m³. La capacité d'entreposage FI actuelle de 4 450 m³ ne suffira pas à gérer l'ensemble des colis à produire (ou à retirer de l'INB 56). En effet le volume cumulé de déchets FI à l'horizon 2030 est estimé à 8 300 m³ environ. Aussi le CEA envisage de porter la capacité d'entreposage FI de CEDRA à 10 000 m³, par la construction de la tranche 3 à l'horizon 2014. Il est à noter que les capacités d'entreposage à réserver sur CEDRA pour les colis anciens retirés de l'INB 56 dépendront de la complexité des contrôles et des reconditionnements qu'il faudra mettre en œuvre et de l'étalement dans le temps des opérations.

L'entreposage des colis de déchets MAVL moyennement irradiants sur le site de Cadarache

Au début 2009, le volume cumulé des déchets MI entreposés sur le site de Cadarache était de 1 052 m³. Il atteindra 1 595 m³ en 2030. La capacité actuelle de CEDRA (825 m³) ne suffira pas à répondre aux besoins. Le CEA envisage d'augmenter cette capacité : après construction de la tranche 3 de CEDRA, elle sera portée à 1 650 m³ ; une tranche 4 supplémentaire permettrait de porter la capacité à 2 350 m³.

L'entreposage d'autres colis de déchets sur le site de Cadarache.

Des colis de sulfates de plomb radifères, 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. Pour retirer de l'INB 56 ces colis rattachés à la filière MAVL, une nouvelle capacité d'entreposage correspondant à ce volume sera nécessaire. Le CEA envisage la construction d'un « bâtiment intermédiaire » en tranche 2 de l'installation CEDRA.

¹⁰ Son extension peut être envisagée, jusqu'à 16 alvéoles pour porter la capacité totale à 33 880 m³.

L'entreposage des colis de déchets MAVL sur le site du CEA de Valduc

La station de traitement des effluents liquides de Valduc produit des boues de coprécipitation / filtration et des concentrats. De 1984 jusqu'en 1995 ces déchets ont été cimentés en fûts métalliques de 220 litres rattachés à la filière MAVL. Le volume total des colis MAVL est de 81 m³. Ils sont entreposés sur le site. Le traitement de matières recyclables produit des effluents contenant de l'américium, du plutonium et de l'uranium que le CEA projette de vitrifier après 2020. Ces colis MAVL seront aussi entreposés sur le site. En 2030 le volume total atteindra 10 m³.

L'entreposage des colis de déchets activés d'EDF sur le site de la centrale du Bugey

A partir de 2014, les déchets activés produits par le démantèlement des réacteurs d'EDF de Creys-Malville, Brennilis, Chooz A, Bugey, Saint-Laurent-des-eaux et Chinon ainsi que les internes retirés des réacteurs électronucléaires en exploitation : grappes de commande et grappes poison seront conditionnés dans l'installation ICEDA qui est en projet sur le site du Bugey. EDF a prévu de doter l'installation ICEDA de deux halls d'entreposage d'une capacité de 2 000 m³ chacun environ. L'un accueillera jusqu'à 1 000 colis de déchets MAVL et FMA-VC en conteneur C1PG. L'autre est destiné à recevoir dans une première période 300 caissons FMA-VC de 5 m³ et 10 m³ et des colis de déchets de graphite. Jusqu'en 2020, la capacité d'un hall devrait être suffisante pour accueillir les colis MAVL en conteneur C1PG, sous réserve que le volume des colis de déchets FMA-VC en transit vers le CSFMA, reste inférieur à 250 m³. En 2030, la capacité du deuxième hall d'entreposage sera en partie utilisée pour les colis MAVL en conteneur C1PG, ce qui signifie à cet horizon une limitation du volume des colis FMA-VC et FA-VL en attente d'expédition vers leur stockage respectif.

L'entreposage de déchets radioactifs divers et radifères

Dans le cadre de la gestion des déchets radioactifs hors du secteur électronucléaire, l'Andra dispose de capacités d'entreposage sur des installations d'AREVA/SOCATRI et du CEA (INB 56 à Cadarache, INB 72 à Saclay) pour les déchets du nucléaire diffus qui relèvent en majeure partie de la filière FA-VL. Ces capacités d'entreposage présentent des limites en termes d'acceptation de types de déchets. Ainsi l'Andra n'est pas en mesure d'entreposer des sources radioactives Ra-Be ni des sources sous forme liquide ou gazeuse, qu'elle ne peut donc pas collecter. Des limites portent aussi sur les délais de prise en charge d'objets irradiants, parfois supérieurs aux besoins. Enfin, les installations du CEA font l'objet de projets de démantèlement et de désentreposages (voir section précédente). Aussi l'Andra étudie des solutions nouvelles d'entreposage pour la gestion des déchets du nucléaire et pour la collecte et le regroupement des déchets du secteur hospitalo-universitaire (voir la section 3.2.3). Par ailleurs, des déchets radifères, rattachés à la filière FA-VL, sont entreposés par Rhodia, Cézus et le CEA. L'Andra analysera en concertation avec les exploitants, l'adéquation des capacités d'entreposage disponibles à l'inventaire prévisionnel des déchets et aux possibilités de stockage FA-VL (cf. 3.1.2).

2.2. La gestion à long terme des matières valorisables

Comme précisé dans la partie 1.1.1, le 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 si la France en maîtrise toutes les étapes. 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 va le mettre en œuvre dans le cadre de l'usine George Besse II en cours de construction à Pierrelatte.

Un bilan des flux aux frontières est présenté ci-dessous. Il est à noter que les chiffres sont issus des déclarations faites au niveau d'EURATOM ; les exploitants nucléaires peuvent avoir une approche comptable différente pouvant conduire à une vision différente même si les sous-jacents physiques sont identiques. Il convient donc d'être prudent avec la manipulation de ces chiffres.

<i>Cumul 2006-2009</i>	Importation	Exportation	Bilan
Uranium appauvri	15 163,5	28 725,9	-13 562,3
Uranium enrichi à 20% et plus	0,1	1,5	-1,4
Uranium enrichi à moins de 20%	6 405,9	6 559,0	-153,1
Uranium naturel	38 814,8	18 960,2	19 854,7
Plutonium	1,9	9,2	-7,3
Thorium	0,1	11,6	-11,5

<i>Flux annuel moyen</i>	Importation	Exportation	Bilan
Uranium appauvri	3 790,9	7 181,5	-3 390,6
Uranium enrichi à 20% et plus	0,0	0,4	-0,4
Uranium enrichi à moins de 20%	1 601,5	1 639,8	-38,3
Uranium naturel	9 703,7	4 740,0	4 963,7
Plutonium	0,5	2,3	-1,8
Thorium	0,0	2,9	-2,9

Le PNGMDR 2007-2009 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 une étude commune relative 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. Le bilan de la gestion à long terme des matières valorisables exposé ci-dessous a été établi notamment sur la base de ces deux études.

Les combustibles usés

L'essentiel des combustibles usés présents sur le sol français est constitué des combustibles des réacteurs à eau légère, 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).

La valorisation des combustibles usés civils à l'uranium, via le traitement-recyclage 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, en particulier pour les combustibles UOX. Concernant spécifiquement les combustibles URE (combustibles issus du retraitement), la faisabilité de leur traitement 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 dans les réacteurs de 4^{ème} génération.

S'agissant des combustibles usés civils au plutonium, 67,5 tonnes de combustibles MOX REP usés ont été traitées dans l'usine de La Hague depuis l'origine. Par ailleurs, plusieurs dizaines de tonnes de combustibles MOX RNR usés ont été traitées tant à La Hague qu'à Marcoule. On peut ainsi considérer que la faisabilité du traitement des combustibles MOX REP et MOX RNR est établie. Compte tenu notamment des quantités de combustibles MOX usés déchargés du parc nucléaire français et des caractéristiques énergétiques du plutonium contenu, la gestion industrielle de référence de ces combustibles est le recyclage dans les réacteurs de 4^{ème} génération. Dans cette perspective, le plutonium est actuellement gardé 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). En outre, la majorité des combustibles de type « caramel » (sandwich d'alliage d'uranium enrichi entre deux plaques métalliques) utilisés actuellement en tant que combustibles d'autres réacteurs de recherche (OSIRIS, ISIS, ORPHEE) est destinée 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, PHEBUS seront traités dans les ateliers existants.

Les combustibles de la propulsion nucléaire usés 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. De faibles quantités de combustibles usés de réacteurs de recherche sont cependant assimilées à des déchets (par exemple les combustibles du réacteur EL4 de Brennilis, les combustibles OSIRIS oxyde, et les crayons et échantillons expérimentaux).

L'uranium

L'uranium enrichi est utilisé pour la production d'électricité d'origine nucléaire.

L'uranium appauvri est issu des usines d'enrichissement de l'uranium, qui produisent deux flux de substances : d'une part, de l'uranium enrichi en isotope ²³⁵U, 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 ²³⁵U, isotope présent avec une teneur de l'ordre de 0,4 % ou moins.

Trois usages de cette matière 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 250 000 tonnes d'uranium appauvri sont actuellement entreposées en France). D'autres utilisations consistent notamment en la fabrication de masses d'équilibrage pour avions, mais en faibles quantités.
- 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. 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%).
- A plus long terme enfin, les stocks d'uranium appauvri seront valorisables à grande échelle dans les réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération, qui pourraient être déployés à partir du milieu du siècle. Ce type de réacteur peut en effet beaucoup mieux tirer partie du potentiel énergétique de l'isotope ²³⁸U de l'uranium.

L'uranium de traitement (URT), extrait des combustibles usés, constitue environ 95% de la masse du combustible usé et contient toujours une part significative d'isotope ²³⁵U, de l'ordre de 0.8%. A la demande du client EDF, 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. Actuellement, sur les 800 tonnes issues annuellement du traitement de combustibles usés, environ 300 sont ré-enrichies, lesquelles permettent aujourd'hui l'alimentation des 4 réacteurs du site de Cruas. A compter de 2010, en lien avec l'augmentation du traitement (passage à 1050 tonnes de combustibles usés traités), ce seront de l'ordre de 1000 tonnes d'uranium de traitement qui seront

chaque année issues du traitement. Actuellement, la totalité du ré-enrichissement de l'URT français est effectuée en Russie.

A ce jour, on ne peut enrichir en France l'uranium de retraitement. En effet, on ne peut simultanément dans la même ligne industrielle enrichir de l'uranium naturel et de l'uranium de retraitement. L'usine Georges Besse I est dédiée à l'enrichissement de l'uranium naturel. L'usine Georges Besse II, basée sur une technologie différente et actuellement en cours de construction, aura la possibilité d'enrichir, dans des lignes séparées, de l'uranium naturel comme de l'uranium de retraitement. Des discussions en ce sens ont lieu entre EDF et AREVA.

En Russie, en France ou ailleurs, l'enrichisseur devient propriétaire de l'uranium appauvri. A Pierrelatte par exemple, AREVA prend 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 (américains, allemands, anglais...).

A terme, lorsque l'usine d'enrichissement Georges Besse II sera opérationnelle, cette opération de réenrichissement pourra être réalisée en France. Le niveau de recyclage dépend principalement de l'attractivité économique de l'URT (différentiel de coût par rapport à l'uranium naturel) et de son rôle dans la sécurisation des approvisionnements.

L'utilisation sur le long terme de l'ensemble de ces matières valorisables est discutée plus avant dans la partie 3.2.2.

Le plutonium

De même que l'uranium, le plutonium contenu dans les assemblages 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 (ateliers R4 et T4). Le recyclage du plutonium est aujourd'hui réalisé dans le combustible MOX, qui comporte de l'uranium appauvri comme support et du plutonium, sous la forme de pastilles de poudre d'oxydes (U,Pu)O₂.

En France, le combustible MOX utilisé par EDF contribue à hauteur de 10% environ à la production électrique nucléaire nationale. Ce sont ainsi de l'ordre de 10 tonnes de plutonium qui sont annuellement recyclées, soit la totalité du flux issu des combustibles EDF traités dans l'usine de La Hague par AREVA NC.

A plus long terme, le plutonium pourra également être utilisé afin de démarrer des réacteurs de quatrième génération. L'analyse de cette utilisation potentielle est précisée dans la partie 3.2.2.

Le thorium

Le thorium peut, par capture neutronique, se transmuter en uranium 233, qui est fissile. Un « cycle thorium » utilisant le thorium comme combustible pourrait ainsi éventuellement voir le jour, mais pas avant plusieurs décennies au vu des travaux de recherche et développement encore nécessaires.

Areva et le CEA possèdent du thorium sous forme nitrate, entreposé sur le site de CEA Cadarache, et appartenant très majoritairement à Areva. L'étude commune remise par Areva, le CEA et EDF fin 2008 conclut que la faisabilité de la valorisation du thorium est prouvée (brevets déposés, R&D importante acquise avec des prototypes).

Concernant l'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 retraitement montre qu'il suffit d'un prix de quelques dizaines d'euros par kg de ThO₂ pour rentabiliser l'investissement.

Les conclusions de ces études et le caractère valorisable, ou non, des matières contenant du thorium sont discutés plus avant dans la partie 3.2.2.

Les matières en suspension

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. Le caractère valorisable de ces matières en suspension est également discuté dans la partie 3.2.2.

2.3. La gestion à long terme des déchets : les centres de stockage dédiés aux déchets radioactifs

Deux filières de gestion des déchets radioactifs au moyen de centres de stockage dédiés existent d'ores et déjà : la filière des déchets de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC).

2.3.1. La filière des déchets TFA

La montée en puissance des opérations de démantèlement en France dans les années à venir pose la question de la disponibilité des filières de gestion à long terme des déchets produits. La plus grande partie de ces déchets sera produite après l'arrêt progressif des 58 réacteurs à eau sous pression actuellement en exploitation. Néanmoins la France est déjà confrontée au démantèlement de 9 réacteurs de production d'énergie (dont 6 de la filière graphite-gaz), de la première usine de retraitement à Marcoule ainsi qu'à celui d'autres installations, notamment des réacteurs ou laboratoires du CEA.

Selon la réglementation française les déchets produits dans une partie d'installation nucléaire où ils sont susceptibles d'être contaminés ou activés doivent être gérés dans des filières spécifiques permettant une traçabilité suffisante quel que soit leur niveau d'activité. La réglementation¹¹ prévoit en effet la réalisation d'une étude (dite « étude déchets ») comprenant un « zonage » de l'installation, soumis à l'approbation de l'ASN pour les INB et à l'approbation du DSND pour les INBS, permettant de distinguer deux types de zones. Les zones susceptibles de conduire à la production de déchets radioactifs sont dites « zones à déchets nucléaires », les autres déchets sont, après contrôle de l'absence de radioactivité, dirigés vers des filières de déchets conventionnels. Une grande part des déchets issus de « zones à déchets nucléaires » ne nécessite pas de disposition de confinement particulière car leur activité est très faible; parfois leur radioactivité est seulement potentielle. Une filière de stockage sûre et économique leur a donc été dédiée avec la création d'un centre de stockage de déchets très faiblement radioactifs. Le stockage TFA de Morvilliers, dans l'Aube, est opérationnel depuis l'été 2003.

Dans la mesure où, pour les déchets TFA, la dangerosité radioactive est très faible, alors que la dangerosité chimique de certains déchets TFA peut être importante, ce stockage est basé sur les concepts techniques des stockages de déchets chimiques de classe I (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 pendant toute la durée du stockage. Ils sont ainsi isolés de l'environnement par un dispositif comprenant :

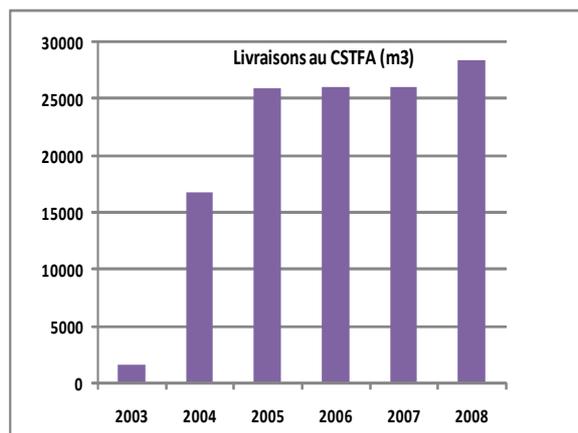
- une membrane synthétique entourant les déchets et associée à un système de contrôle ;
- une épaisse couche d'argile sous et sur les flancs des alvéoles de stockage ;
- une couverture, elle même en argile, disposée au dessus des déchets.

¹¹ Arrêté du 31 décembre 1999 modifié fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base et 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.

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.

A la fin de l'année 2008, le volume total stocké était d'environ 115 700 m³, soit 17,8% de la capacité réglementaire autorisée (650 000 m³).

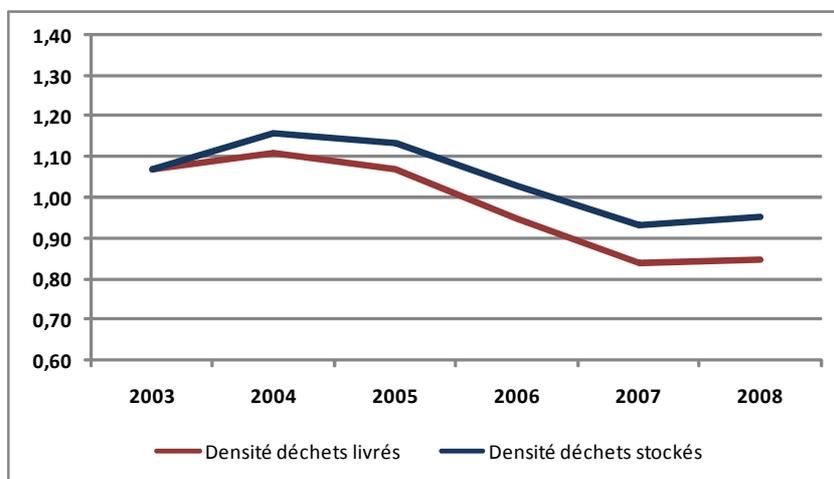
Depuis la mise en service du centre, les besoins exprimés par les producteurs de déchets ont conduit à modifier les dimensions des alvéoles de stockage, de manière à permettre la prise en charge de quantités de déchets plus importantes. La capacité annuelle de stockage proposée par l'Andra aux producteurs est passée de 26 000 m³ à 32 000 m³ (en 2009) par an.



Volumes de déchets livrés au centre de stockage TFA

Pour autant, la prise en charge de certains déchets dangereux pose problème. C'est le cas notamment des déchets contenant de l'amiante qui nécessitent des précautions particulières pour leur mise en alvéole et dont la quantité totale stockable est limitée par des considérations de sûreté à long terme.

Par ailleurs la densité des déchets livrés depuis la mise en exploitation est bien inférieure à la densité prise en compte lors de la conception du centre (1,3). Ceci augmente la consommation de la capacité de stockage en volume. Cette situation est amplifiée par une utilisation moindre de la part des producteurs des installations de compactage (presse « à ferrailles ») du centre compte tenu notamment des critères techniques et économiques retenus. L'inventaire national de l'Andra indique, sur la base du scénario de référence et des hypothèses communiquées par les producteurs de déchets, que la capacité du centre devrait être saturée en 2020. Des pistes d'optimisation de cette capacité sont discutées dans la partie 3.3.1.



Densité des déchets livrés et stockés au centre de stockage TFA

2.3.2. La filière des déchets FMA-VC

Le centre de stockage de la Manche

Les colis de déchets de faible et moyenne activité à vie courte ont été reçus au centre de stockage de la Manche (CSM) jusqu'en 1994. Depuis sa mise en service en 1969, 527 000 m³ de colis de déchets y ont été stockés. Le centre a été recouvert entre 1991 et 1996 par une couverture dont l'étanchéité est apportée par une membrane bitumineuse. Le passage en phase de surveillance a été formalisé par le décret du 10 janvier 2003.

Conformément aux prescriptions de ce décret un rapport sur l'évolution de la couverture a été remis à l'Autorité de Sûreté Nucléaire fin 2008 qui fera connaître ses conclusions sur son instruction début 2010. Le principal problème relevé concerne la stabilité à long terme des talus, trop raides du fait des limitations de l'emprise actuelle du centre. Ceci pourrait nécessiter, à terme, d'agrandir l'emprise foncière du centre.

La présence persistante, bien qu'en diminution, de tritium est constatée dans la nappe sous le centre et dans les rivières environnantes. Elle est liée au stockage, dans les années 70 de déchets tritiés dans le CSM. Les évaluations montrent toutefois un impact très faible sur l'environnement.

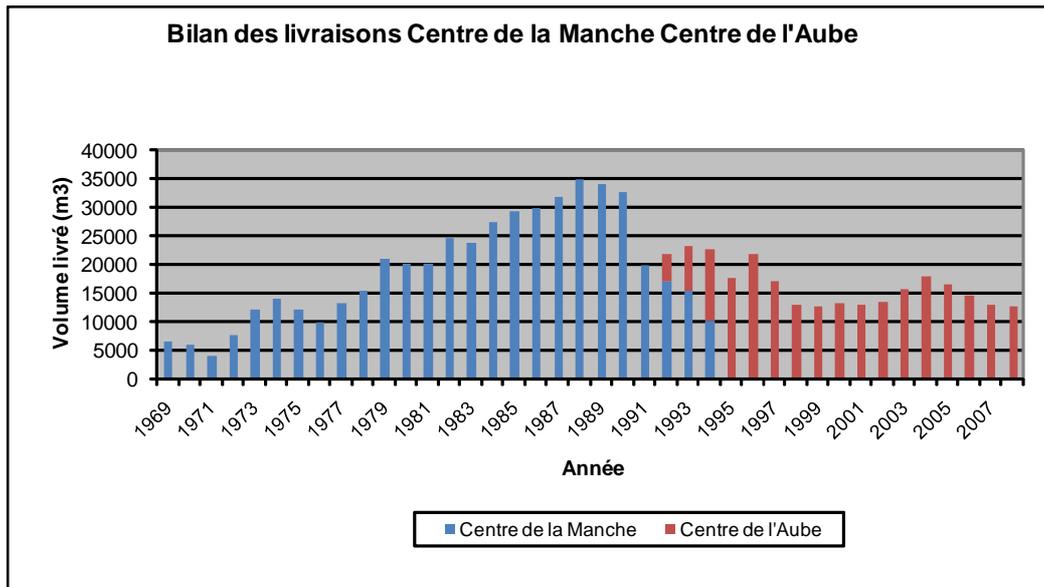
Le centre de stockage de l'Aube

Le centre de stockage de l'Aube (CSFMA) a pris le relais du CSM à partir de 1992. Il bénéficie du retour d'expérience du CSM et des règles de sûreté qui y ont été établies dans les années 80. Le principe du stockage 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.

Le stockage des colis se fait dans des cases en béton à l'abri de charpentes métalliques mobiles, se déplaçant au rythme de l'exploitation. Les colis sont bétonnés ou bloqués par des gravillons dans les ouvrages selon qu'il s'agit de colis à enveloppe en métal ou en béton. Une fois rempli l'ouvrage est fermé par une dalle, rendue imperméable aux eaux de pluie par une projection de matériau plastique.

L'Andra a formalisé ses exigences quant au conditionnement des déchets dans des spécifications techniques. Les procédés de fabrication des colis font l'objet d'agrément et d'une surveillance par l'Andra.

A la fin 2008, 220 000 m³ de colis de déchets ont été stockés au CSFMA, représentant environ 22% de sa capacité autorisée. Le flux annuel des livraisons se situe actuellement autour de 12 000 m³ de colis, ce qui correspond à la moitié du flux de dimensionnement. Les efforts de réduction de la production de déchets à la source dans les installations nucléaires ont ainsi permis d'allonger significativement la durée de vie du centre, initialement prévue pour 30 ans, et qui devrait pouvoir se prolonger jusqu'en 2040-2050.



Concernant les capacités radiologiques, 19 radioéléments font l'objet de limitations. De même l'activité globale alpha comptabilisée à 300 ans est limitée. A fin 2008, les parts de capacités consommées pour ces radioéléments sont inférieures à la consommation de capacité en volume (22%), à l'exception du chlore 36 qui arrive à plus de 88% de sa capacité. La capacité retenue pour ce radioélément de période de 302 000 ans, avait été prévue afin d'anticiper sur la prise en charge des déchets de graphite entreposés sur le site de Bugey après son arrêt.

Le CSFMA a été conçu pour permettre le stockage d'une douzaine de colis standardisés du point de vue de leur géométrie. Très vite après sa mise en service la question s'est posée de la possibilité de stocker des pièces massives, sans devoir les découper pour les conditionner en colis standard. Une telle option peut présenter un intérêt économique pour le producteur de déchets ; elle peut aussi réduire l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants sur les chantiers. L'ANDRA a ainsi déjà pris en charge des colis hors normes dimensionnelles, soit dans des ouvrages standards, soit dans des ouvrages dédiés et dotés de moyens de manutention et de conditionnement spécifiques. C'est ainsi que le CSFMA est amené à recevoir dans des ouvrages spécialisés la totalité des 55 couvercles de cuves remplacés de réacteurs à eau sous pression.

2.4. La gestion à long terme des déchets : les autres modes de gestion existants

2.4.1. Les résidus et stériles miniers

Des mines d'uranium ont été exploitées en France entre 1948 et 2001, conduisant à la production de 76 000 tonnes d'uranium. Des activités d'exploration, d'extraction et de traitement ont concerné environ 210 sites en France répartis sur 25 départements. Le traitement des minerais quant à lui a été effectué uniquement dans 8 usines mais le stockage des résidus issus du traitement concerne 17 sites. La gestion retenue à l'heure actuelle est une gestion in situ compte tenu des grandes quantités des déchets produits et moyennant la mise en place de dispositions visant à diminuer le risque sur le long terme. C'est pourquoi il avait été demandé à Areva dans le précédent PNGMDR d'évaluer l'impact à long terme des sites de stockage de résidus miniers.

On peut distinguer 2 catégories de produits issus de l'exploitation des mines d'uranium :

- 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).

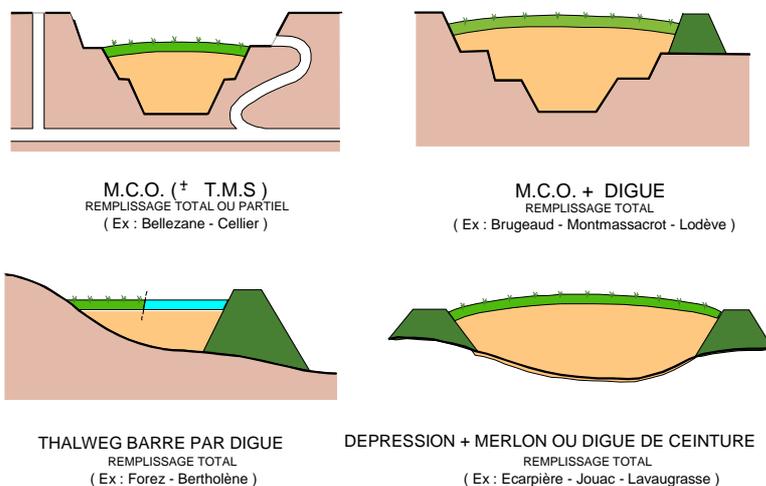
- Les stériles miniers qui désignent les produits constitués par les sols et roches excavés pour accéder aux minéralisations d'intérêt. On distingue les stériles francs dont la teneur moyenne en uranium correspond à la teneur caractéristique du bruit de fond naturel ambiant (situé à titre d'exemple entre 15 et 100 ppm dans le Limousin) d'une part, 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 (la teneur de coupure économique pour l'uranium est de l'ordre de 300 ppm).

Les résidus du traitement du minerai et les sites de stockage de ces résidus

La quantité de résidus peut être évaluée à 50 millions de tonnes au total. Les résidus sont stockés sur 17 sites. Il s'agit de déchets TFA voir FA dans certains cas. Il existe deux types de résidus de traitement du minerai, qui ne présentent pas les mêmes 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 Mt) sont stockés soit en vers, soit en mines à ciel ouvert, soit utilisés comme première couche de couverture des stockages de résidus de traitement dynamique ;
- les résidus de traitement de minerais à forte teneur moyenne (de l'ordre de 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 30Mt), sont stockés soit dans d'anciennes mines à ciel ouvert avec parfois une digue complémentaire, soit dans des bassins fermés par une digue de ceinture, soit derrière une digue barrant un talweg.

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



Différents types de stockages de résidus miniers

Avec la fermeture progressive des exploitations minières, le réaménagement de ces sites de stockage 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 et ainsi que ceux liés à l'exposition externe et interne (radon) des populations alentours.

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 le groupe le plus exposé. Les résultats montrent le respect de la limite de dose efficace ajoutée de 1 mSv/an. 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. Le souci de réduction du niveau d'exposition, requis notamment en application du principe d'optimisation, est pris en compte lors de la phase de réaménagement.

Du point de vue réglementaire, les résidus 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. La plupart des stockages de résidus relèvent de la rubrique 1735 de la nomenclature des installations classées.

Avant la mise en place de cette réglementation, ces stockages ont été autorisés par des actes administratifs pris au titre du code minier en tant que dépendances des mines.

Avec la fermeture progressive des sites miniers, 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. 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, auquel a succédé l'IRSN) élabore la doctrine de réaménagement des stockages de résidus. En 2001, l'IPSN élabore la méthodologie pour l'évaluation de l'impact radiologique des stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium¹² et le BRGM la méthodologie d'évaluation de la stabilité des digues ceinturant certains stockages de résidus¹³. Enfin, en 2003 le ministère de l'écologie et du développement durable confie à l'IRSN le programme d'inventaire national des sites miniers d'uranium « MIMAUSA » (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives). Un premier inventaire est publié en avril 2004 et sa mise à jour en septembre 2007.

Fin 2008, en application de l'article 4.5 de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 et de l'article 10 de son décret d'application n° 2008-387 du 16 avril 2008, AREVA a remis une étude sur l'impact à long terme sur la santé et l'environnement des stockages de résidus miniers d'uranium, une étude sur l'évaluation de la tenue des digues, une étude sur la caractérisation des résidus ainsi que les préconisations associées à ces études (dossier du 30/01/2009).

La méthodologie de modélisation développée par AREVA pour évaluer les impacts dosimétriques à long terme des stockages de résidus comporte un scénario d'évolution normal et quatre scénarios d'évolution altérée à savoir : perte d'intégrité de la digue et de la couverture, réalisation d'un habitat au-dessus du stockage en présence ou en l'absence de couverture, construction d'une route, présence d'enfant jouant sur les résidus excavés. Cette modélisation constitue une avancée notable pour l'évaluation de l'impact à long terme des stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium et 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 les stockages de surface de l'Andra, notamment au travers des scénarios altérés de type chantier routier ou résidence sur le stockage

Cette méthodologie 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 mSv/an.

L'étude d'Areva indique également que les résidus évoluent naturellement vers une forme minéralogique et chimique qui limite fortement la mobilité de l'uranium et du radium. L'évaluation de la

¹² Rapport IPSN-DPRE/SERGD/01-53 de novembre 2001

¹³ Rapport BRGM/RP-51068-FR de septembre 2001

tenue des digues menée par Areva est cohérente avec le cadre méthodologique défini par le BRGM et indique une bonne stabilité des ouvrages.

D'autre part, à la suite de ces études et conformément aux engagements pris par la société AREVA dans le courrier adressé au Ministre d'Etat le 12 juin 2009, Areva maintient la surveillance de ces sites et a engagé une réflexion sur le remplacement de la couverture par lame d'eau du site des Bois Noirs Limouzat par une couverture solide.

Par ailleurs, les résultats des réflexions du groupe d'expertise pluraliste sur les sites miniers d'uranium du Limousin (GEP Limousin)¹⁴ sont attendus. En effet, Le GEP Limousin s'est attaché à préciser les différentes fonctions opérationnelles et administratives mises en jeu dans la surveillance (acquisition de connaissances, mesures, traitement, contrôle, application de servitudes, mémoire...) et leur nécessaire phasage dans le court, moyen et long terme pour assurer la maîtrise des sites. Le rapport définitif des travaux du GEP Limousin prévu fin 2009 devrait proposer des recommandations sur les perspectives de gestion à long terme.

Les stériles miniers et les anciens sites d'extraction de mines

Il est important de ne pas faire un amalgame entre résidus miniers (qui sont des déchets de procédés sensu stricto) et stériles miniers qui sont extraits en même temps que le minerai sans que ces roches ne subissent de traitement mécanique ou chimique spécial (contrairement au minerai).

Au début de l'exploitation des mines d'uranium, des stériles ont pu être mis à la disposition des riverains qui pouvaient avoir besoin de matériau pour des remblais. A partir du 1^{er} janvier 1984, COGEMA, en liaison avec le Service central de protection contre les rayonnements ionisants (SCPRI), a mis en place un registre de cession permettant d'assurer une meilleure traçabilité des stériles. Cependant, ces registres ne donnent pas d'indication pour les stériles réutilisés avant 1984. La modification du code minier intervenue en 1990 a encadré de façon plus stricte la gestion des matériaux issus de l'exploitation minière en rendant obligatoire l'établissement d'un plan de gestion pour les produits solides de teneur supérieure à 0,03% en uranium. C'est la raison pour laquelle au cours de l'histoire de l'exploitation minière d'uranium des stériles ont pu être cédés et réutilisés dans les environs des sites miniers sur des propriétés de particuliers, ou d'autres usages, sans que les conditions et les lieux de réutilisation et leurs quantités cédées n'aient fait l'objet d'un enregistrement précis ni de contrôle systématique.

Les stériles miniers sont présents dans des régions qui présentent naturellement des affleurements de roches riches en radioactivité naturelle, et dans lesquelles il existe donc déjà naturellement des conditions analogues d'utilisation de ces roches (notamment, lors de travaux de construction d'infrastructures). Ces régions se caractérisent, de plus, généralement par une grande hétérogénéité de la radioactivité naturelle. Le problème des stériles rejoint donc en partie le problème de la protection de la population dans les régions à radioactivité naturelle plus élevée que la moyenne.

Des actions sont menées pour recenser l'ensemble des sites d'extraction de minerai et l'ensemble des données historiques (présence de stériles, de résidus ...) ou de surveillance de l'environnement qui peuvent y être associés. C'est un des objectifs du programme MIMAUSA

Dans le prolongement de ces actions et afin de poursuivre de manière résolue la gestion des anciennes mines d'uranium, le Ministère chargé du développement durable et l'ASN ont défini, par circulaire du 22 juillet 2009, un plan d'actions composé des axes de travail suivants :

- Contrôler les anciens sites miniers ;

¹⁴ Un groupe d'expertise pluraliste (GEP) a été mis en place en 2006 par le ministère de l'Écologie, le ministère de la Santé et l'Autorité de sûreté nucléaire afin d'intensifier l'effort de dialogue et de concertation autour des sites miniers d'uranium du Limousin. 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. Quatre sous groupes de travail ont été définis : terme source et rejet, impact environnemental et sanitaire, cadre réglementaire à long terme, mesures.

- Améliorer la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et la surveillance ;
- Gérer les stériles : mieux connaître leurs utilisations et réduire les impacts si nécessaire ;
- Renforcer l'information et la concertation.

Les sites d'extraction de minerai (en dehors des zones de traitement du minerai et de stockage des résidus de traitement), une fois réaménagés, posent rarement des problèmes sanitaires. En effet, l'impact radiologique naturel a pu être ainsi abaissé. Il convient toutefois de signaler que certains sites hébergent des vers à stériles qui dans certains cas peuvent nécessiter des actions de surveillance ou de réhabilitation particulières, voire des servitudes permettant un usage adapté du site.

Certaines eaux de surface nécessitent une surveillance, voire un traitement afin de précipiter les éléments radioactifs qui s'y trouvent et respecter les limites de rejets fixés dans les arrêtés préfectoraux. On peut néanmoins retrouver un marquage des sédiments en aval des sites qui est lié aux quantités d'uranium et de radium émises dans le réseau hydrographique. Il faut noter que les sites français ne présentent pas de problèmes importants d'acidification des eaux souterraines de par la composition minéralogique des gisements, et donc ne posent pas de problèmes majeurs en termes de qualité des eaux souterraines.

D'une manière générale, il est considéré que les stériles réutilisés dans l'environnement ne présentent pas d'impact sanitaire ou environnemental (ceci doit cependant être vérifié site par site). En revanche, il est également considéré que des concentrations de radon peuvent exister dans les constructions érigées sur des terrains qui ont été remblayés par des stériles (ou dans leur voisinage immédiat). Le plan d'actions définit dans la circulaire du 22 juillet 2009 répond à cette préoccupation.

En complément, une étude générique par modélisation des impacts potentiels pour évaluer l'exposition liée à l'utilisation de stériles miniers dans le domaine public a été demandée à AREVA. L'étude remise fin 2008 par Areva prend en compte 4 scénarios de réutilisation de stériles miniers (franc ou de sélectivité) dans le domaine public, à savoir des chemins, une cour de ferme, une cour d'école, une plateforme d'entreprise. Ces scénarios correspondent bien au cas les plus fréquemment observés de réutilisation des stériles et ne dépassent pas en première approche l'ajout de 1 mSv/an. Pour mémoire dans le cadre d'« activités nucléaires », la valeur réglementaire fixée par le code de la santé publique est de 1 mSv/an ajoutée à la radioactivité naturelle.

2.4.2. Les déchets à radioactivité naturelle renforcée

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée sont des déchets générés par la transformation de matières premières naturellement riches en radionucléides et qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. Ces déchets sont d'origines diverses et présentent des volumes significatifs. Ce sont des déchets à vie longue. Leur radioactivité est due à la présence de radionucléides naturels : potassium 40, radionucléides de la famille de l'uranium 238, radionucléides de la famille de l'uranium 235, radionucléides de la famille du thorium 232.

En juin 2009, en application de l'article 12 du décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au PNGMDR, l'ASN a remis aux Ministres chargés de la santé et de l'environnement un bilan sur la gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée. Pour élaborer ce bilan, l'ASN s'est appuyée sur deux études élaborées par l'association Robin des Bois.

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée relèvent de deux catégories :

- les déchets de très faible activité à vie longue qui représentent les plus gros volumes de déchets à radioactivité naturelle renforcée (par exemple, dépôts historiques de phosphogypses et de cendres de charbon, déchets de sables de fonderie, déchets de réfractaires à base de zirconium utilisé notamment dans l'industrie verrière...);
- les 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).

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.

Il subsiste encore des incertitudes sur les volumes de déchets produits ainsi que sur l'activité radiologique de certains déchets. En effet, les secteurs d'activité concernés sont très variés et le nombre d'industriels important ce qui rend difficile la réalisation d'un inventaire exhaustif, les données n'étant pas forcément disponibles. Par ailleurs, la qualité des données disponibles est très hétérogène.

Les activités qui ont conduit à la production des déchets à radioactivité naturelle renforcée dont l'activité massique est la plus élevée sont pour certaines arrêtées. Seul un nombre limité d'entreprises continuent à en produire. Néanmoins, un certain nombre de procédés conduisent à la formation de tartres qui peuvent présenter un niveau d'activité important (plusieurs dizaines de Bq/g) relevant de la catégorie des déchets de faible activité.

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée de très faible activité sont soit éliminés dans des centres de stockage de déchets dangereux, non dangereux ou inertes, soit éliminés au centre de stockage de déchets de très faible activité exploité par l'Andra, soit éliminés en décharge interne. Par le passé, des dépôts de cendres et de phosphogypses qui sont des déchets à radioactivité naturelle renforcée de très faible activité ont été constitués. Ces dépôts représentent généralement chacun au moins plusieurs centaines de milliers de tonnes. Certains dépôts de cendres sont repris en vue d'une valorisation des cendres dans le domaine des travaux publics. Quelques dépôts ont ou vont être réaménagés (zone de loisir, ...). Seule une partie des dépôts de cendres et de phosphogypses fait l'objet d'une surveillance. Néanmoins, cette surveillance ne concerne que les paramètres chimiques et pas les paramètres radiologiques.

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée de faible activité sont en général entreposés chez les industriels car aucune filière d'élimination n'est aujourd'hui opérationnelle. Cet entreposage se fait soit dans des bâtiments soit en extérieur. Pour certains des entreposages en extérieur, des mesures ont été ou vont être prises afin de protéger les fûts de déchets des eaux de pluie. Par le passé, quelques milliers de tonnes de déchets à radioactivité naturelle renforcée de faible activité ont été stockées dans des centres de stockage de déchets dangereux et non dangereux.

Des travaux ont été menés pour vérifier l'acceptabilité de la réception dans les centres de stockage des déchets à radioactivité naturelle renforcée. Ils ont conduit à l'élaboration de la circulaire du Ministère de l'Ecologie du 25 juillet 2006 et d'un guide méthodologique de l'IRSN pour l'acceptation de déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations classées d'élimination.

Les améliorations à apporter aux solutions de gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée sont discutées au paragraphe 3.4.2.

2.4.3. Les déchets radioactifs stockés dans des centres de stockage conventionnels

Des déchets radioactifs ont été par le passé stockés dans des centres d'enfouissement technique qui sont pour la plupart fermés ou réaménagés. Il s'agit essentiellement de boues, terres, résidus industriels, gravats et ferrailles qui proviennent de certaines activités historiques de l'industrie conventionnelle voire dans certains cas de l'industrie nucléaire civile ou militaire. On distingue en général deux types de stockages : les stockages de déchets dangereux, auparavant désignés sous le terme de centres d'enfouissement de classe 1 et les stockages de déchets non dangereux désignés sous le terme de stockages de classe 2. L'arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux et l'arrêté du 9 septembre 1997 relatif au stockage de déchets non dangereux interdisent l'élimination des déchets radioactifs dans ces centres ; cette interdiction date en pratique du début des années 90. Des procédures de détection de la radioactivité à l'entrée des centres de stockage doivent

être mises en place pour prévenir l'introduction de déchets radioactifs dans ces installations et le cas échéant les adresser vers les filières autorisées.

L'inventaire géographique des déchets radioactifs publié par l'ANDRA liste 11 sites d'enfouissement ayant reçu, par le passé, des déchets radioactifs. On citera par exemple le cas de la décharge de Vif qui a reçu les résidus de procédé de fabrication de l'usine de Cézus, les résidus de transformation de phosphates stockés dans la décharge de Menneville ou encore les décharges de Pontailier-sur-Saône et Monteux 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. Une décharge de Solérieux contient des fluorines provenant de l'usine de Comurhex. A leur fermeture, ces anciens sites d'enfouissement sont soumis aux mesures de surveillance prévues au titre des installations classées (principalement des mesures de pollution chimique, vérification de l'absence de tassement et la mise en place, le cas échéant de servitudes d'utilité publique). Pour les sites recensés dans l'inventaire ANDRA qui ont reçu le plus de radioactivité, des mesures de surveillance plus ou moins complètes selon le site, prévoient le suivi radiologique des eaux souterraines (comme c'est le cas pour les décharges de Vif ou de Monteux).

2.5. La gestion à long terme des déchets : bilan des recherches sur de nouvelles filières

Les recherches actuelles sur de nouvelles filières pour la gestion à long terme des déchets radioactifs concernent les sources scellées, les déchets tritiés, les déchets de faible activité à vie longue (FAVL), et les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL).

Des programmes de recherche sont communs à l'ensemble des filières, concernant en particulier le conditionnement et le comportement des déchets d'une part, et la modélisation et la simulation d'autre part.

Dans le domaine du conditionnement et du comportement des déchets, les producteurs de déchets et l'Andra ont mis en place des structures de pilotage et d'échange permettant de garantir la cohérence de l'ensemble des programmes de R&D. Il est désormais acté que les producteurs sont responsables de la caractérisation des colis et des études sur le comportement intrinsèque des colis (constitution d'un dossier de connaissances et d'un modèle opérationnel décrivant le comportement à long terme de ce colis), tandis que l'Andra est en charge des interactions entre les colis et les matériaux environnants. Les programmes en cours s'intéressent principalement aux catégories de déchets et colis suivants :

- les déchets conditionnés via la gestion industrielle du combustible usé telle qu'elle est pratiquée à La Hague ;
- les déchets dits "historiques", entreposés à Marcoule et à la Hague lors du traitement industriel du combustible usé avant le démarrage de l'usine UP3 (1990) ou ceux des activités de recherche de la même période. Une part de ces déchets est encore sous forme brute ou, dans certains cas, peut nécessiter un reconditionnement. Conformément aux exigences de la loi du 28 juin 2006, cette opération devra être achevée en 2030 ;
- les déchets radifères, provenant principalement du traitement des minerais pour l'industrie chimique ;
- les déchets graphite, issus du démantèlement des réacteurs de la filière graphite-gaz (R&D pilotée au sein d'une structure commune réunissant l'Andra, le CEA et EDF) ;
- les déchets provenant des opérations de nettoyage consécutives à la mise à l'arrêt et ceux provenant des différentes phases de déconstruction des installations ;
- les combustibles de la propulsion nucléaire navale¹⁵ et des réacteurs de recherches (études réalisées en partenariat CEA – Andra).

Concernant le programme de modélisation et de simulation, les travaux menés par l'Andra avec le CEA pendant les années 2006 et 2007 ont notamment permis la mise en œuvre de nouvelles

¹⁵ L'option du traitement de ces combustibles à l'usine de La Hague étant toujours à l'étude, ils pourraient ne pas être considérés comme des déchets.

fonctionnalités pour le transport en milieu insaturé, le couplage des modèles de dégradation des colis avec l'environnement, ainsi que la mécanique et l'extension du couplage chimie-transport. D'autres travaux ont permis d'améliorer l'outil "Alliances" (permettant l'analyse et la simulation de phénomènes à prendre en compte dans les études sur l'entreposage et le stockage de déchets radioactifs). Enfin, les capacités de calcul et le potentiel de certains codes ont été accrus, en particulier de façon à travailler sur des maillages importants. Parallèlement, des travaux menés dans le cadre du programme PACEN visent à regrouper et interconnecter les compétences en modélisation mathématique, analyse numérique et calcul scientifique, notamment afin de répondre aux demandes sur le stockage géologique.

2.5.1. Les déchets contenant du tritium

98% des déchets tritiés sans exutoire produits en France sont des déchets d'exploitation et de démantèlement des installations liées aux applications militaires du CEA, le reste provenant d'activités liées à la recherche ou au secteur pharmaceutique et hospitalier regroupées sous le terme générique de « nucléaire diffus ». Ils représentent aujourd'hui un peu plus de 3500 m³ pour un inventaire estimé de l'ordre de 5000 TBq. Ces déchets sont regroupés en fonction de leur inventaire en tritium et plus particulièrement de leur dégazage.

Entre 1999 et 2005, le CEA¹⁶ a engagé des actions visant à mieux connaître l'inventaire des déchets tritiés des autres producteurs et étudier des procédés de conditionnement ou de traitement en vue de leur acceptation dans une filière de stockage existante. Toutefois, compte tenu de la forte mobilité du tritium à travers les milieux qui le contiennent, même dans des conteneurs fabriqués pour être les plus étanches possibles et y compris dans les ouvrages en béton du centre de stockage de l'Aube, il n'apparaît pas possible de les accueillir dans les stockages de surface ; cette pratique aurait pour conséquence de marquer la nappe phréatique autour du stockage par le tritium ce qui n'est pas compatible avec l'objectif de non marquage de l'environnement du CSFMA.

Les filières opérationnelles aujourd'hui pour l'élimination 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 contraintes¹⁷.

De futures filières telles que les centres de stockages HA-MAVL ou FAVL ont été identifiées. Pour des déchets contenant des quantités significatives de tritium très peu mobile (graphites, B4C, ...), la présence de tritium « inclus » ne semble pas apporter de contraintes supplémentaires.

L'essentiel des déchets actuellement produits par le CEA sont traités et/ou entreposés sur les sites de Valduc et de Marcoule. Les installations du CEA à Marcoule dont l'exploitation génère des déchets tritiés seront arrêtées à l'horizon de 2012. Les déchets tritiés purs issus du démantèlement de ces installations seront évacués vers Valduc pour être traités (détritiés) puis entreposés.

Face à l'absence de filière pour la majeure partie des déchets tritiés français, la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, prévoit dans le cadre de la mise en place du Plan National pour la Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) : « 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 ». Le décret du 16 avril 2008, fixant les prescriptions relatives au PNGMDR précise que : « Le Commissariat à l'Energie Atomique remet aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement, au plus tard le 31 décembre 2008, une étude sur les solutions d'entreposage de déchets contaminés par du tritium déjà produits et à venir et non susceptibles d'être stockés directement dans les centres de stockages de l'ANDRA. Cette étude précise le délai dans lequel ces déchets pourront être pris en charge dans les centres de stockage de l'ANDRA. Le CEA veille en particulier à prendre en compte les contraintes, notamment en termes de sûreté et de transport afin de justifier le nombre d'entreposage de décroissance nécessaires pour ce type de déchets. Cette étude

16 EDF et AREVA ne disposent pas de déchets tritiés sans filière.

17 Pour les déchets reçus au CSFMA à Soulaines, les spécifications d'accueil limitent la quantité de tritium dégagé par jour et par unité de masse à 2 Bq/g/j et à 1000 Bq/g par lot de déchets.

présente les orientations de sûreté et précise les dispositions de conception, de réalisation et d'exploitation de l'entreposage qui permettent de limiter autant que possible la migration du tritium dans l'environnement. Le CEA propose un échéancier de mise en œuvre des solutions d'entreposage envisagées et remet une première estimation de leur coût. Les ministres saisissent pour avis l'Autorité de Sûreté Nucléaire. »

Le CEA a remis dans le cadre de l'application de l'article 9 du décret du 16 avril 2008, un dossier d'orientation pour l'entreposage des déchets tritiés sans filière. Le projet d'entreposage des déchets tritiés sans filière 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 de la fin du démantèlement des installations ITER. 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 35000 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 futurs centres de stockage de déchets de faible activité et à vie longue (FA-VL) ou de déchets de moyenne et haute activité et à vie longue (MA-HA /VL).

A partir de l'inventaire présenté, le CEA a notamment retenu 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 dégazants¹⁸ ;
- les déchets uraniés 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 des colis et leur prise en charge dans une filière d'élimination. Le projet retient pour la conception des entreposages les principes suivants :

- la réception et le déchargement des emballages de transport et des colis pleins : 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 réalisées chez les producteurs ;
- l'entreposage des colis pour une durée de cinquante ans ;
- la conception de structures modulaires adaptées à chaque catégorie de déchets ;
- la surveillance environnementale 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.

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

¹⁸ 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.

Caractéristiques générales des entreposages envisagés par le CEA pour le stockage de déchets tritiés

	Statut réglementaire	Structure	Principe d'entreposage	Ventilation	Capacité	Nombre envisagé		Rejets Annuels en tritium	Impact tritium/scénario			Exutoire final envisagé
									Incendie interne	Sismique	Manutention (dose travailleurs)	
Déchets TFA	ICPE autorisée	Module en bardage métallique	Gerbage des caisses sur 3 niveaux	Ventilation naturelle	1 000 caisses (1 PBq)	3	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)	3 (Valduc)	Pas de dimensionnement au séisme	20 TBq	< 3 µSv à 500 m	< 15 µSv à 500 m	< 40 µSv	Type FMA
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)	2 (1 Valduc 1 ITER)	Dimensionné au Séisme	140 TBq	30 µSv à 500 m	20 µSv à 500 m	0,8 mSv	Type FMA
Déchets uraniés tritiés	INB	Voiles béton confinant	Gerbage	Ventilation par extraction avec cheminée	1 000 fûts (10 PBq)	1 (Valduc)	Dimensionné au Séisme	20 TBq	30 µSv à 500 m	1 µSv à 500 m	0,8 mSv	Type FMA
Déchets 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)	3 (1 Marcoule 2 ITER)	Dimensionné au Séisme	100 TBq	Exclu (colis béton)	20 µSv à 500 m	Exclu (manutention à distance)	Type FMA
Déchets irradiants à vie longue	INB	Puits ventilés	Puits (7 colis par puits)	Ventilation nucléaire (puits) associée à unité de détritiation	1 232 colis	3 (ITER)	Dimensionnement au séisme des ponts et puits	35 TBq		70 µSv à 500 m		Stockage géologique profond

Les échéances de construction des différents modules sont espacées dans le temps. Les premières échéances concerneraient les déchets tritiés purs à l'horizon 2012 pour le centre de Valduc qui poursuit régulièrement la construction de modules pour ses propres besoins et les dernières concerneraient les déchets irradiants à vie longue provenant du démantèlement d'ITER (2050). L'échéancier de mise en œuvre de ces entreposages est cohérent avec les scénarios de production de déchets tritiés présentés par le CEA.

Des estimations de coûts sont indiquées dans le dossier d'orientation remis par le CEA. Les coûts varient en fonction de particularités liées aux déchets et à la présence notamment pour certains d'émetteurs gamma très irradiants. Ils varient de quelques millions d'euros pour la construction d'un module d'entreposage de déchets tritiés TFA à une quarantaine de millions d'euros pour la construction d'un module d'entreposage de déchets irradiants à vie longue.

2.5.2. Les sources scellées usagées

Concernant la gestion des sources scellées usagées, il convient tout d'abord de noter la création du Groupement d'Intérêt Public relatif aux sources radioactives scellées de haute activité (dit "GIP Sources HA"), qui permettra à l'avenir 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 des sources orphelines de même nature.

Conformément au décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au PNGMDR, l'Andra a remis en décembre 2008 au ministre chargé de l'énergie et de l'environnement une étude des procédés permettant le stockage des sources scellées usagées dans des centres existants ou à construire. Elle couvre l'ensemble des sources radioactives scellées usagées¹⁹ telles que définies par le code de la santé publique, c'est-à-dire des sources âgées de plus de 10 années, sauf conditions particulière d'emploi et « dont la structure ou le conditionnement empêche, en utilisation normale, toute dispersion de matières radioactives dans le milieu ambiant ».

Les sources scellées usagées présentent une grande diversité : radionucléides, activités, formes... Pour prendre en compte cette diversité, l'Andra a établi un inventaire des sources scellées usagées en France, en liaison avec leurs principaux détenteurs (dont les fabricants français CEA, CIS bio international/groupe IBA et Cerca/groupe AREVA). L'IRSN a apporté son expertise pour constituer cet inventaire.

Les entreprises du groupement français des industries électroniques de sécurité incendie (GESI) détiennent, selon les estimations de l'Andra, environ 65% en nombre des sources scellées usagées, vient ensuite la défense nationale pour près de 22% (tubes électroniques essentiellement) puis les sources industrielles et médicales détenues principalement par le CEA (10%) et CIS-BIO (0,3%). L'Andra, qui a notamment pour mission de collecter les sources scellées usagées en déshérence, en détient environ 1,3 %. La cohérence vérifiée de l'inventaire national des sources scellées en cours d'utilisation tenu par l'IRSN avec l'inventaire précité réalisé par l'Andra répertoriant les sources scellées usagées laisse penser que les différents types de sources ont été convenablement identifiés, permettant leur orientation vers les différentes filières de stockage possibles. Cet inventaire des sources scellées usagées à stocker devra toutefois être périodiquement réévalué, en fonction des ventes effectuées, des retours aux fabricants et de nouvelles estimations des quantités détenues par divers organismes.

La valorisation de certaines sources scellées usagées constitue une autre possibilité de gestion à celle du stockage. C'est en particulier le cas pour les sources gazeuses dont le gaz pourrait être récupéré, pour les sources de radionucléides coûteux à fabriquer et éventuellement pour celles permettant de réutiliser les propriétés de certains radionucléides contenus dont la décroissance est lente, notamment l'Am 241 ou le Cs 137.

¹⁹ Par prudence, l'étude a été élargie à des sources qui ne répondraient pas strictement à cette définition (telles les sources de paratonnerres radioactifs).

L'étude menée par l'Andra se fonde sur un stockage des sources scellées usagées dans les filières existantes ou à venir conçues pour les déchets radioactifs (centres de stockage en surface des déchets de très faible activité – CSTFA - et de faible et moyenne activité à vie courte – CSFMA, futurs centres de stockage des déchets FAVL et HA-MAVL). L'Andra a établi en 2001 des limites d'acceptabilité de colis de sources scellées au CSFMA avec, d'une part un critère d'activité portant sur les colis et les ouvrages appelé « limite d'activité massique » (LAM), d'autre part un critère sur l'activité par radionucléide de chaque source nommé « limite d'activité des sources » (LAS). Cette LAS est estimée de manière à limiter l'exposition en cas notamment de scénario de chute de colis pendant la période d'exploitation ou d'intrusion humaine avec récupération d'une source scellée usagée au-delà de la période de surveillance. Depuis 2007, certaines sources scellées usagées peuvent d'ores et déjà être stockées au CSFMA. Il s'agit des sources scellées usagées à vie courte, de période inférieure ou égale à celle du césium 137, soit 30 ans, avec des activités inférieures à certains seuils selon le radionucléide concerné. Ces seuils ou limites d'activité résultent d'une évaluation de compatibilité avec la sûreté du stockage sur les mêmes bases que les autres déchets, complétée par la prise en compte de la spécificité des sources.

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.

A l'exception des sources scellées usagées liquides et gazeuses, qui ne peuvent pas être stockées sous cette forme, les filières de stockage proposées par l'Andra permettraient de prendre en charge les sources scellées usagées en l'état, sans dénaturation physique. Environ 83% des deux millions de sources scellées usagées inventoriées seraient ainsi destinées au stockage à faible profondeur, 15% au stockage en surface et 2% au stockage en formation géologique profonde.

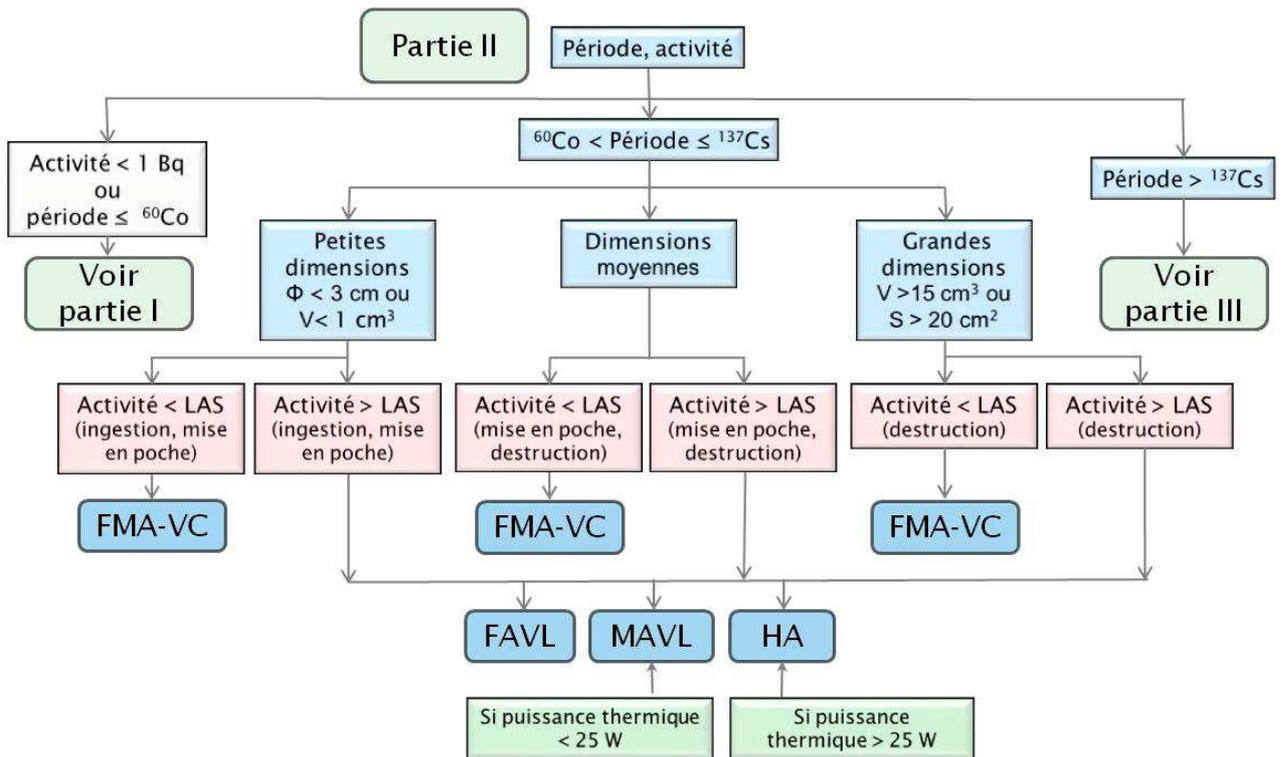
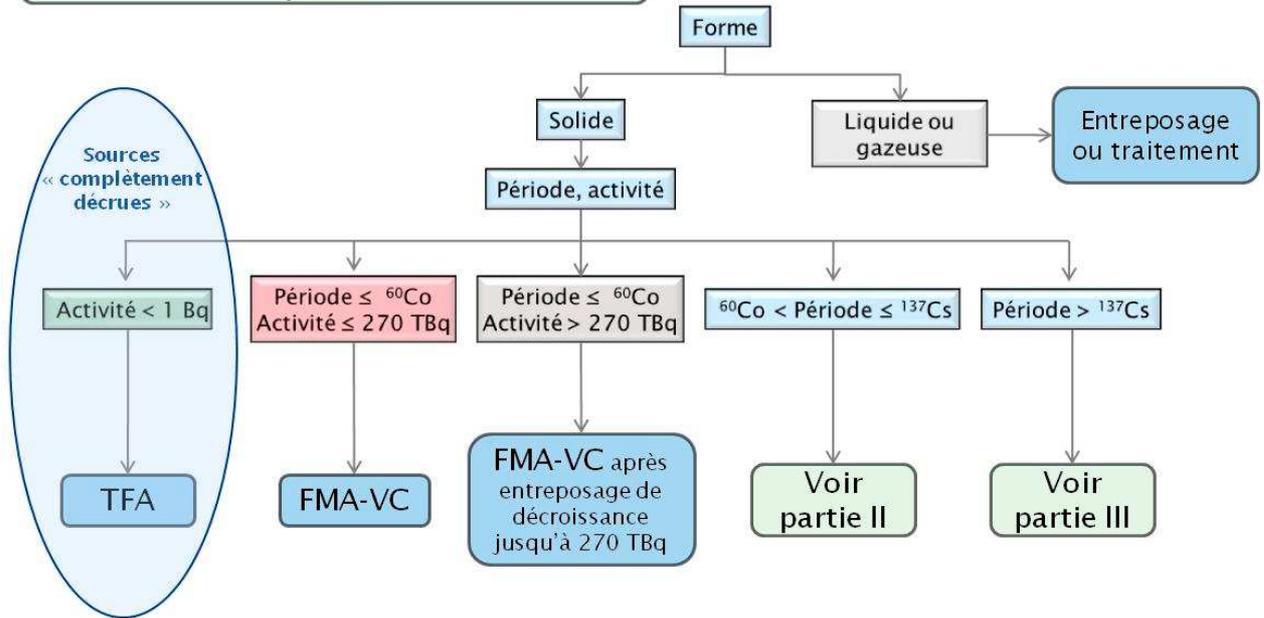
Pour les sources non acceptables au CSFMA, l'Andra a examiné les possibilités de stockage dans la filière FAVL, en distinguant les deux options à l'étude : stockage sous couverture remaniée (SCR) et stockage sous couverture intacte (SCI).

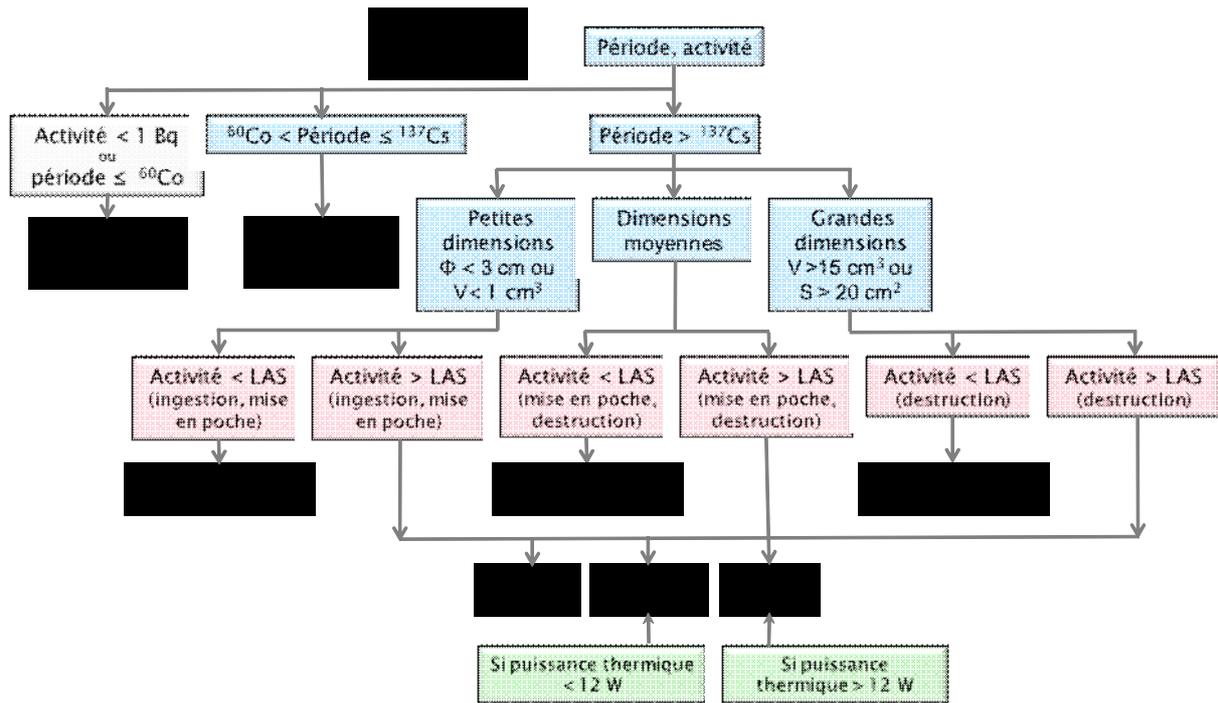
L'étude a étendu au stockage à faible profondeur l'application de limites d'acceptation résultant de scénarios de récupération des sources scellées. Elle tient compte de manière qualitative de la diminution de la vraisemblance de scénarios de récupération avec la profondeur ; elle différencie de ce point de vue les deux concepts à couverture remaniée et intacte.

Les sources scellées usagées non acceptables en surface ou à faible profondeur ont été affectées au 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 de filières de stockage 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 (c'est-à-dire inférieure au cobalt 60), moyenne (inférieure au césium 137) 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





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 décro (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 CSTFA. Par ailleurs, l'Andra rappelle que les sources scellées contenant un radionucléide de période inférieure à 100 jours peuvent être gérés par décroissance radioactive puis déclassés (en déchets conventionnels), conformément au PNGMDR. L'Andra mentionne l'opportunité de stocker ces sources usagées déclassées au CSTFA, afin de s'affranchir des éventuelles difficultés liées à la « dispersion » de sources décroissantes dont le symbole indicateur de rayonnement ionisant n'aurait pas été effacé. Cette approche permet d'éviter les risques de remise par erreur dans le domaine public de sources radioactives.

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 CSFMA. Pour les sources scellées usagées de période inférieure ou égale à celle du ^{60}Co , la sûreté d'exploitation du CSFMA 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 de radionucléides de période courte mais avec descendant de période longue ou neutroniques : ^{233}Pa , ^{244}Cm et ^{252}Cf .

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

Les sources usagées des détecteurs de fumée sont destinées au stockage à faible profondeur. Les sources (ou les têtes) usagées de paratonnerres à ^{241}Am peuvent être stockées à faible profondeur. Ce serait aussi le cas de celles au ^{226}Ra et mixtes si le risque de récupération s'avérait non dimensionnant. 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 certaines 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). Des procédés complémentaires peuvent optimiser la gestion de certaines sources. Ainsi pour les têtes de paratonnerres au ^{226}Ra , le procédé de compactage actuellement pratiqué préalablement à l'entreposage peut permettre un stockage en faible profondeur si le risque de récupération est peu vraisemblable.

Une vision globale de la gestion des diverses sources scellées usagées, de leur reprise ou leur collecte jusqu'à leur stockage permettra de mieux anticiper les contraintes de chaque étape de gestion et leurs conséquences sur le stockage. Des propositions sont faites au chapitre 3.5.1. du présent rapport.

2.5.3. Les déchets de faible activité à vie longue (FAVL)

Présentation du projet de centre de stockage pour les déchets radioactifs FAVL

L'ouverture d'un centre de stockage pour les déchets radioactifs de faible activité à vie longue (FAVL) est l'un des objectifs fixés par la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

Ces déchets comprennent :

- des déchets « graphites », qui proviennent de l'exploitation et du futur démantèlement des réacteurs EDF de la filière « Uranium Naturel Graphite Gaz » (réacteurs de Bugey, Chinon et Saint-Laurent des Eaux) et de réacteurs expérimentaux du CEA (Saclay, Marcoule) ;
- des déchets « radifères », qui proviennent essentiellement du traitement de minéraux contenant des terres rares, utilisés pour la fabrication de composants électroniques, de pots catalytiques dans l'industrie automobile et dans la métallurgie fine. Les résidus conservent, voire concentrent, la radioactivité naturelle des minéraux. Ils sont actuellement entreposés sur des sites industriels : usine Rhodia de la Rochelle, centre CEA de Cadarache, usine Cézus du groupe AREVA à Jarrie (Isère). Les déchets radifères proviennent également d'activités historiques telles que la mise au point de procédés de concentration de minerai d'uranium (site CEA d'Ilteville dans l'Essonne), ainsi que de la réhabilitation de sites industriels contaminés par du radium (terres issues de la décontamination de l'usine horlogère Bayard par exemple).
- d'autres types de déchets, dont la possibilité de prise en charge dans le futur stockage FAVL doit être confirmée, par exemple : certains déchets bitumés anciens entreposés sur le site CEA de Marcoule, certains déchets de procédés issus du démantèlement, certaines sources scellées usagées (sources de détecteurs d'incendie, sources de paratonnerres radioactifs collectés par l'Andra).

L'inventaire de déchets est estimé à ce stade entre 50 000 t et 100 000 t de déchets bruts, soit un volume de l'ordre de 200 000 m³ de déchets conditionnés. A titre de comparaison, les centres de stockage de déchets radioactifs de l'Aube ont une capacité de 650 000 m³ (TFA) et 1 000 000 m³ (FMA).

Ces déchets doivent faire l'objet d'une gestion spécifique, adaptée à leur longue durée de vie qui ne permet pas leur stockage dans les centres de surface de l'Andra dans l'Aube. Leur faible radioactivité ne justifie toutefois pas de les stocker à grande profondeur (de l'ordre de 500 mètres pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue).

L'option technique privilégiée est un stockage à faible profondeur. L'Andra étudie en particulier un stockage en subsurface dans une couche géologique peu perméable (essentiellement de type argileuse ou marneuse) et d'épaisseur suffisante (au moins 50 mètres). Deux types de stockage sont étudiés : le stockage à couverture remaniée (SCR) correspond à une excavation à ciel ouvert pour accéder au niveau du stockage, puis un remblaiement une fois les déchets stockés ; le stockage à couverture intacte (SCI) consiste à creuser en sous-sol, l'accès étant effectué par des galeries longitudinales destinées à être remblayées une fois les déchets stockés.

Dans l'attente de la sélection d'un site, ces différentes options ont été étudiées sur la base de caractéristiques réalistes de sites génériques, issues d'études bibliographiques. L'option d'un stockage avec couverture intacte est privilégiée pour les déchets de graphite. En effet, la plus grande épaisseur d'argile permet de mieux retarder et atténuer le flux des radionucléides susceptibles de remonter à la surface. Pour les déchets radifères, le besoin en barrière au transport des solutés est moins exigeant car ils se caractérisent par une activité radiologique plus faible. Aussi l'étude des deux options de conception sous couverture intacte ou remaniée est poursuivie pour les déchets radifères.

Lancement de la recherche de site

La loi du 28 juin 2006 fixe le jalon de 2013 pour la mise en service d'un centre de stockage pour les déchets graphites et les déchets radifères. Toutefois, du fait des contraintes techniques et d'organisation du projet (notamment pour la recherche de site), les analyses de l'Andra, de la CNE et du Haut Commissaire à l'Energie Atomique ont montré que ce calendrier n'était plus réaliste. Fin 2007, à la demande de ses tutelles, l'Andra a proposé un nouvel échéancier, avec une mise en service du stockage désormais prévue en 2019. L'inventaire du stockage, les objectifs de sûreté, ainsi que la remise à plat des interactions avec le programme de démantèlement d'EDF, ont pu être précisés au cours du premier semestre 2008.

Le 2 juin 2008 le ministre d'Etat a confié au président de l'Andra la mission de lancer l'appel à candidatures auprès des collectivités locales pour accueillir un site de stockage de déchets FAVL, et a validé l'objectif d'une mise en service en 2019. Le Ministre d'Etat a 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 a 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 a ainsi contacté 3115 communes, situées dans les cantons dont la géologie est potentiellement favorable 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 a reçu une quarantaine de délibérations favorables de conseils municipaux.

Fin 2008, l'Andra a remis deux études au Gouvernement : une étude sur la recherche de site de stockage pour les déchets FAVL et une étude de la possibilité de stocker d'autres types de déchets FAVL avec les déchets de graphite et radifères.

Synthèse de l'étude de l'Andra sur la possibilité de stocker d'autres déchets FAVL avec les déchets de graphite et radifères

L'Andra a remis fin 2008 au Gouvernement une autre étude sur la possibilité de stocker d'autres déchets FAVL avec les déchets de graphite et radifères.

Des sources scellées usagées et des objets au radium, au thorium et à l'uranium ont en particulier été identifiés comme pouvant être pris en charge ; le volume à stocker reste faible par rapport aux déchets de graphite et radifères. L'étude a également identifié d'autres déchets de faible activité, en particulier des futs de boues bitumées, les moins actifs, non acceptables en stockage de surface, et représentant un volume beaucoup plus conséquent (de l'ordre de 35 000 mètres cubes une fois conditionnés) ; les études doivent se poursuivre pour ce dernier type de déchet.

Il sera en outre possible de conditionner et stocker ensemble, sans chercher à les séparer, des objets et échantillons de minéraux radioactifs collectés auprès du « nucléaire diffus ».

Autres recherches sur la connaissance et le conditionnement des déchets FAVL

Les études sur la connaissance et le comportement des déchets FAVL visent à comprendre d'une part le comportement intrinsèque du colis de déchets (responsabilité du producteur), et d'autre part le comportement du colis de déchets en situation de stockage (responsabilité de l'Andra).

Dans le cas des déchets graphites, les programmes se focalisent sur les deux radionucléides les plus importants vis-à-vis de l'impact radiologique à long terme : le chlore 36 et le carbone 14. Il s'agit, dans le cas du chlore 36, de connaître son origine, sa forme chimique et sa localisation, afin de quantifier son relâchement en stockage. Les études sur le carbone 14 ont pour objet de vérifier qu'il sera relâché sous une forme inorganique non gazeuse, susceptible d'être fortement piégée par les matériaux cimentaires.

Une partie des travaux portant sur la thématique de la connaissance des déchets graphites est mutualisée à l'échelle européenne dans le cadre du projet Européen Carbowaste (VIIème PCRD). Dans le cadre de ce programme, seront abordés les procédés alternatifs de gestion des graphites par traitement thermique, notamment pour ce qui concerne les déchets associés aux réacteurs de 4ème génération.

Des études sur les résines échangeuses d'ions, qui seront utilisées pour filtrer l'eau lors du démantèlement sous eau de certains réacteurs UNGG, sont réalisées par EDF afin de connaître leur comportement en stockage (relâchement d'hydrogène par radiolyse et d'espèces complexantes).

Dans le cas des déchets radifères, les études se focalisent sur la spéciation des radionucléides en fonction des conditions de stockage en intégrant les procédés d'insolubilisation mis en œuvre par les producteurs. Il s'agit également d'évaluer les effets des espèces complexantes et des sels de ces déchets sur le transfert des radionucléides.

Choix des sites pour les investigations approfondies en vue du stockage

Avant de poursuivre la démarche de sélection de site, le Gouvernement a consulté l'Autorité de Sûreté Nucléaire et la Commission Nationale d'Evaluation concernant la méthodologie d'analyse retenue par l'Andra. L'ASN, qui a analysé cette méthodologie au regard de la note d'orientation générale de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets FAVL qu'elle a publiée en juin 2008, a notamment indiqué qu'« en l'état actuel de l'analyse, il n'existe pas d'éléments rédhibitoires, d'un point de vue géologique, à la poursuite des investigations pour l'implantation d'un centre de stockage pour les déchets de faible activité à vie longue sur l'un des sites classés par l'Andra en catégorie 'très intéressant' du point de vue géologique », et que « l'aptitude de ces sites à recevoir une installation de stockage ne pourra être confirmée que sur la base des résultats d'investigations approfondies ». La CNE a quant à elle abouti à la conclusion suivante : « La décision de choisir les sites qui feront l'objet d'une étude approfondie est prévue prochainement et la reconnaissance des caractéristiques essentielles de la roche ne viendra qu'ensuite. Après cette reconnaissance la qualité des sites envisagés pourra être évaluée. De ce fait, malgré la qualité du travail effectué jusqu'à présent par l'Andra, il subsiste un risque qu'aucun des sites choisis ne s'avère avoir les propriétés requises. »

Le 24 juin 2009, l'Andra a annoncé la décision du Gouvernement de mener des investigations approfondies sur deux communes de l'Aube (Auxon et Pars-lès-Chavanges) et de vérifier ainsi la faisabilité d'implantation d'un centre de stockage à faible profondeur pour les déchets FAVL. Toutefois, les conseils municipaux de Pars-lès-Chavanges et d'Auxon ont décidé de se retirer du projet, respectivement le 4 juillet et le 11 août.

Le Gouvernement et l'Andra ont pris acte de ces décisions. Les prochaines étapes du projet sont détaillées dans la partie 3.5.3.

2.5.4. Les déchets HA-MAVL : séparation / transmutation, stockage géologique réversible, entreposage

Conformément à la loi du 28 juin 2006, les recherches sur la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue sont menées dans trois axes complémentaires : la séparation et la transmutation d'éléments radioactifs à vie longue ; le stockage réversible des déchets ultimes en couche géologique profonde ; l'entreposage. Des études complémentaires sont également menées, concernant notamment le conditionnement des déchets.

Quelques notions scientifiques concernant les recherches sur les déchets HA-MAVL

La transmutation désigne la transformation, suite à une réaction nucléaire, d'un élément en un autre élément. Elle peut être réalisée en réacteur ou dans un accélérateur de particules. C'est une voie étudiée pour l'élimination de certains radioéléments contenus dans les déchets radioactifs : l'objectif est de diminuer la nocivité ou de rendre plus facile la gestion des radioéléments à vie longue ou de haute activité, en les transformant en des radioéléments de durée de vie plus courte. A cette fin il faut séparer préalablement les divers radioéléments pour les soumettre à des flux neutroniques spécifiques ; l'ensemble du processus est alors appelé "séparation-transmutation".

Les produits de fission sont des *fragments résiduels de noyaux lourds* ayant donné lieu à une réaction de fission nucléaire (ou leurs descendants par désintégration radioactive). Les actinides mineurs correspondent à des *noyaux lourds produits de manière minoritaire*, tels que le neptunium et l'américium. Les déchets de haute activité (HA) contiennent à la fois des produits de fission et des actinides mineurs. En l'état actuel des recherches, il est acquis que la séparation-transmutation ne concernerait que les actinides mineurs.

Présentation des déchets HA-MAVL

Les déchets HA-MAVL sont issus de l'industrie électronucléaire, de la recherche nucléaire et des activités de défense ; ils proviennent notamment du traitement des combustibles irradiés. Après avoir été irradié pendant 3 à 4 ans en réacteur, le combustible contient :

- 96% d'actinides majeurs (uranium et plutonium) dont le potentiel énergétique est encore important. Ils peuvent être valorisés par recyclage ;
- 4% d'éléments résultant de la production d'énergie : des produits de fission issus de la fission de l'uranium 235,238 et du plutonium, et des actinides mineurs (neptunium, américium, curium...).

Lors de l'opération de traitement des combustibles usés, quatre types de déchets sont produits, dont les deux premiers sont issus directement des combustibles usés, et conditionnés :

- les déchets HA (produits de fission et actinides mineurs) sont conditionnés sous forme de colis standards de déchets vitrifiés. La radioactivité intense des colis se traduit par l'émission d'une puissance thermique d'environ un à deux kilowatts par colis au moment où ils sont produits. Elle diminue ensuite avec la radioactivité et n'est plus que de 100 à 200 Watts au bout d'une centaine d'années. Dans les conditions actuelles d'utilisation des combustibles dans les réacteurs et d'élaboration des colis de verre, 850 tonnes de combustibles usés génèrent environ 500 colis de verre CSD-V ;
- les déchets de structures des assemblages des combustibles usés (déchets de moyenne activité à vie longue) : les produits d'activation se trouvent dans les matériaux de gainage et de structure des assemblages de combustible ; leur radioactivité, sensiblement inférieure à celle des autres contributeurs, doit être prise en compte à cause de la longue période de certains radionucléides. Ces déchets sont aujourd'hui conditionnés en colis standards de déchets compactés. 850 tonnes de combustibles usés traités génèrent, d'après le retour d'expérience, moins de 510 colis de CSD-C ;
- les déchets technologiques et les déchets de procédé (déchets de moyenne activité à vie longue) : il s'agit de déchets solides d'exploitation ou de maintenance (matériels usés, gants, filtres, résines, boues de fond de cuves) qui sont conditionnés en colis cimentés;

- les déchets issus du traitement des effluents radioactifs (déchets de moyenne activité à vie longue) : une majorité de ces déchets se présente aujourd'hui sous la forme de colis de déchets bitumés.

Outre les déchets issus des opérations de traitement du combustible usés, certaines structures activées par les flux de neutrons présents dans les réacteurs nucléaires conduisent à des déchets MAVL en faible quantité, par exemple, les grappes de contrôles ou les structures récupérées après démantèlement. Par ailleurs, les installations de recherche du CEA et le programme de la défense nationale produisent également des déchets MAVL.

Les déchets MA-VL, contenant moins de radionucléides à vie courte que les déchets HA, émettent peu de chaleur mais nécessitent un isolement de longue durée à cause de leur contenu en éléments radioactifs à vie longue.

Séparation et transmutation des actinides mineurs

Les recherches sur la séparation et la transmutation visent à réduire les dangers et nuisances associées à la présence de radionucléides à vie longue dans les déchets ultimes à stocker en couche géologique profonde : essentiellement diminution de l'inventaire radiotoxique à long terme (1000 ans et au-delà) et de la charge thermique à moyen terme (période 100 ans-1000 ans), qui est un élément dimensionnant du stockage géologique. A ce titre, la séparation/transmutation est complémentaire du stockage géologique profond (et non une alternative au stockage) ; les recherches dans ce domaine ont pour objectif de préciser si elle peut en constituer un axe de progrès.

Le programme ne s'intéresse qu'à la transmutation des actinides mineurs, à l'exclusion des produits de fission ou d'activation à vie longue présents dans les déchets issus du traitement des combustibles usés. Les actinides mineurs, en raison de leur très faible mobilité dans les conditions du stockage géologique étudié, ne contribuent que très peu à l'impact à long terme. En effet, les résultats exposés par l'Andra dans son dossier 2005 révèlent que les seuls réels contributeurs à l'impact radiologique en surface sont l'Iode, le Chlore et le Sélénium, leur incidence sur la dose calculée à l'exutoire restant faible. En revanche, les actinides mineurs sont des contributeurs essentiels à la thermique séculaire des déchets et, à ce titre, constituent la principale "cible" du programme de recherches.

Les modes de transmutation à l'étude pour les actinides mineurs concernent leur recyclage en mode homogène (en dilution dans les combustibles des réacteurs de 4^{ème} génération), ou en mode hétérogène (en couvertures ou en cibles dédiées) dans des réacteurs de 4^{ème} génération ou dans des systèmes pilotés par accélérateurs (ADS : Accelerator Driven System).

L'objectif des études en cours est d'évaluer les perspectives industrielles de la transmutation des actinides mineurs et de dégager une stratégie de recherche pour l'après 2012, notamment au travers de scénarios d'études technico-économiques sur l'ensemble du cycle du combustible : quel est l'apport de la transmutation en fonction des noyaux transmutés ? quels actinides recycler ? sous quelles formes de combustibles ou de couvertures ? quelles implications sur la fabrication des combustibles, leur manutention (chargement et déchargement), leur transport et leur retraitement et l'impact sur le stockage géologique, etc.

La mise en œuvre d'une telle technologie ne peut se concevoir qu'à une échéance lointaine : elle nécessite l'existence d'une nouvelle usine de traitement en remplacement de l'usine actuelle de la Hague et l'existence d'un certain nombre de réacteurs à neutrons rapides de 4^{ème} génération dans le parc français. Toutefois, même si ces échéances sont lointaines, il convient de s'y préparer dès maintenant, car la qualification de combustibles avec actinides mineurs nécessite des actions de R&D longues, faisant appel à des expériences d'irradiations. L'industrialisation de procédés de traitement, dont la faisabilité a été établie au niveau du laboratoire pour certains d'entre eux, constitue également une tâche de longue haleine. De plus, ces travaux sont indispensables pour nourrir les réflexions sur la conception des réacteurs et des usines du cycle du futur. En cohérence avec ces objectifs de moyen et long terme, les études et recherches à mener d'ici 2012 en application de la loi du 28 juin 2006 sont rattachées et précisées dans la partie 3.5.4.

Le bilan des recherches menées jusqu'à l'échelle du pilote a permis de conclure à la faisabilité des principales options de séparation. En ce qui concerne la transmutation, l'utilisation de réacteurs à

spectre rapide est la seule solution envisageable, mais les performances technico-économiques des différents scénarios restent à conforter en fonction de l'avancement des études de conception (réacteur et installations du cycle du combustible). Soulignons à nouveau qu'il est maintenant acquis que la transmutation ne concernera pas les produits de fission, même à vie longue.

Stockage réversible en couche géologique profonde

Les études et recherches à mener sur la période 2007-2015 pour répondre aux objectifs fixés par la loi dans le domaine du stockage réversible en couche géologique profonde ont été définies dans un Plan de développement du projet. Ce Plan a été présenté en 2007 à l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Techniques (OPECST), à la Commission Nationale d'Evaluation (CNE), au Groupe Permanent d'experts sur les déchets de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et au Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS) mis en place autour du laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne. Une synthèse de ce document a également été diffusée auprès du grand public. La phase de mise en place du projet HAVL s'est achevée en 2007 avec la finalisation des programmes thématiques, la planification détaillée du projet, la mise en place du cadre contractuel et le démarrage des études.

Une campagne de reconnaissance a été menée en 2007-2008 dans la zone de transposition située autour du laboratoire de recherche souterrain de Meuse / Haute-Marne (localisé sur la commune de Bure), zone dans laquelle les résultats des recherches menées dans le laboratoire peuvent être transposés. Les données acquises confortent et précisent le modèle géologique du secteur étudié et confirment les limites et les caractéristiques de la zone de transposition telles qu'elles sont décrites dans le Dossier 2005. Les caractéristiques physico-chimiques de la formation des argilites du Callovo-Oxfordien ne permettent pas, à ce stade, de dégager des critères discriminants pour définir un périmètre pour la Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie (ZIRA). En revanche, certaines caractéristiques géométriques (épaisseur, profondeur, gradient hydraulique) constituent des éléments objectifs de choix. Si les paramètres de sûreté resteront toujours prioritaires, les critères liés à l'aménagement du territoire et à l'insertion locale à prendre en compte pour choisir la ZIRA et les scénarios d'implantation en surface associés ont été consolidés avec les acteurs locaux en 2009.

L'Andra a ainsi transmis fin octobre 2009 aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement sa proposition de zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (cf. Figure 7) et de scénarios d'implantation en surface compatibles avec cette zone d'intérêt à étudier pour le débat public prévu en 2013.

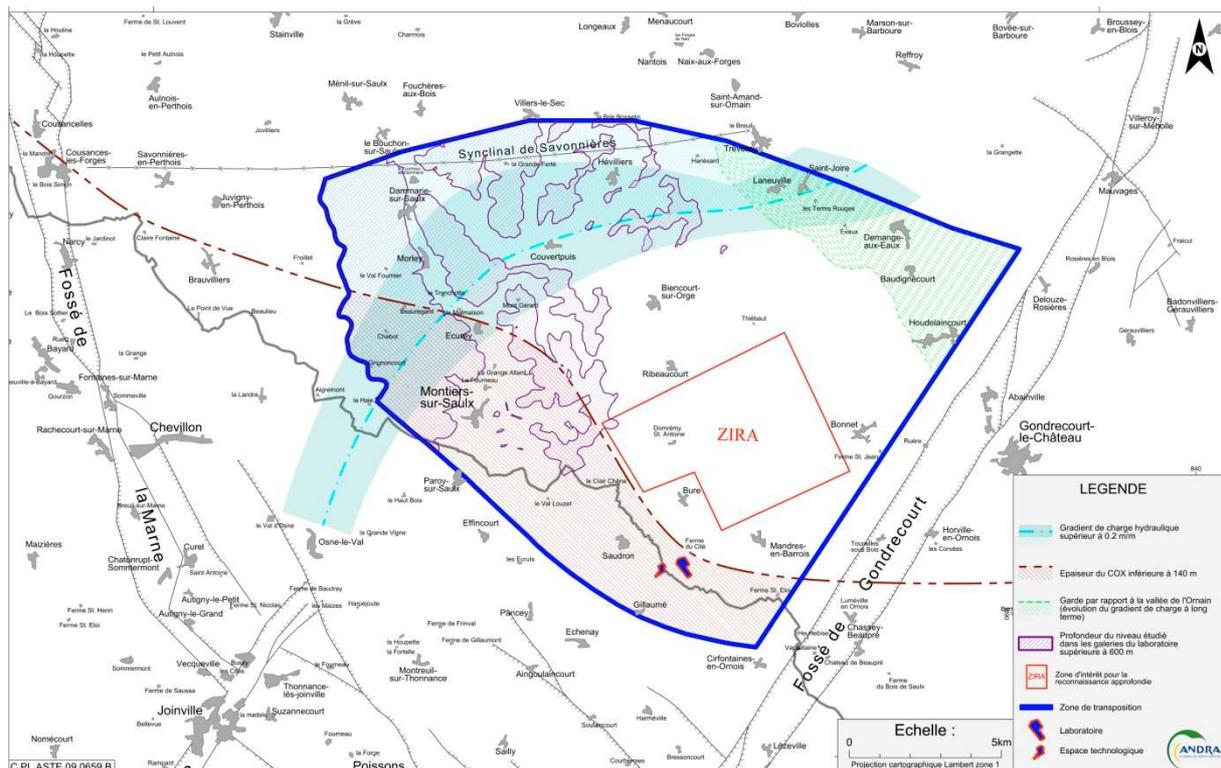


Figure 7. Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie (ZIRA) proposée par l'Andra (zone dans laquelle seront menées des recherches approfondies en vue de l'implantation des installations souterraines du stockage géologique)

Pour dimensionner le projet de centre de stockage, un « modèle d'inventaire de dimensionnement » (MID) est établi. Ce modèle identifie des scénarios de production, inventorie les divers colis de déchets à prendre en charge et en décrit les principales caractéristiques (contenu en radionucléides, débit de dose, dégagement de chaleur...). Le MID ajoute des marges aux prévisions des producteurs de déchets pour tenir compte des incertitudes sur les scénarios de production électronucléaire et de gestion des déchets, sur les caractéristiques des colis et sur leur inventaire. Il prend aussi en compte les incertitudes sur l'acceptabilité de certains déchets dans les stockages actuels ou futurs en surface ou à faible profondeur. Le MID définit ainsi des données d'entrée prudentes pour le dimensionnement du futur stockage en formation géologique profonde.

Une première version du MID avait permis d'élaborer le dossier sur la faisabilité du stockage remis en 2005. Une nouvelle version a été élaborée en 2009 pour préparer les prochains rendez-vous prévus par la loi (débat public sur le projet de centre de stockage, puis remise d'un dossier de demande d'autorisation de création). La version 2009 du MID prend mieux en compte les déchets de démantèlement des installations actuelles et les déchets issus des derniers combustibles du parc électronucléaire (avant cessation d'exploitation des réacteurs). Pour les déchets futurs, il existe des incertitudes sur la durée d'exploitation du parc électronucléaire actuel : certains réacteurs pourraient voir leur durée d'exploitation prolongée jusqu'à 50, voire 60 ans, mais on ne peut en préjuger aujourd'hui. Ces incertitudes sont gérées par des marges de dimensionnement.

En vue du dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage géologique profond, deux scénarios sont considérés :

- un scénario de base « tout traitement », sauf pour des combustibles usés issus de la recherche et de la propulsion nucléaire, pour lesquels une hypothèse de stockage direct est examinée. Ce scénario prend comme hypothèse une capacité à recycler les matières séparées au-delà du parc engagé. Il adopte l'hypothèse d'un traitement différé des combustibles usés MOX, cohérente avec le lancement futur de réacteurs de génération IV.
- un scénario de dimensionnement ajoutant une marge de dimensionnement supplémentaire par rapport à celles considérées dans le scénario de base précité, fixée

conventionnellement à +50 % pour certaines catégories de déchets ; cette marge permet de couvrir un éventuel allongement de la durée d'exploitation du parc engagé et des aléas sur les opérations de déconstruction.

Ce scénario de dimensionnement, proposé par l'Andra fin 2009, prévoit ainsi :

- i) environ 12 000 m³ de « colis primaires » de déchets HA, ce qui correspondrait à environ 25 000 m³ après conditionnement pour le stockage, répartis en :
 - déchets vitrifiés « C0 » (caractérisés par un dégagement thermique modéré) ;
 - déchets vitrifiés hors C0 (présentant un dégagement thermique plus élevé) ;
 - déchets « CU3 » (combustibles usés non traités de la recherche et la défense) ;
- ii) environ 110 000 m³ de colis primaires de déchets MAVL, ce qui correspondrait à environ 360 000 m³ après conditionnement pour le stockage, dont :
 - des déchets de structure et des déchets technologiques conditionnés en conteneurs standards de déchets compactés (CSD-C) ;
 - des effluents bitumés ;
 - des déchets activés et des déchets technologiques conditionnés en conteneurs béton ;
 - des déchets de déconstruction.

Dans le cadre du projet de centre de stockage en couche géologique profonde, des programmes de recherches sont en outre menés dans le laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne, concernant notamment l'analyse des transferts de radionucléides dans l'environnement, la migration des gaz, l'évolution de la perméabilité des bétons en fonction de l'état de fissuration et des contraintes appliquées, et les vitesses de corrosion en situation de stockage. Un programme actualisé décrivant les travaux de recherche et développement à poursuivre dans la perspective de conforter les connaissances acquises et investiguer des techniques complémentaires doit être présenté par l'Andra fin 2009 dans le cadre de la demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter du laboratoire souterrain de Meuse/ Haute-Marne.

Les sciences humaines et sociales ont également été intégrées dans les recherches menées au sein de l'Andra, notamment afin de préciser la démarche d'information et de dialogue. Cette intégration est assurée par des études SHS associées au projet dans le cadre du programme scientifique. On notera en particulier la mise en place d'un programme spécifique portant sur la réversibilité qui s'est traduit par une journée de travail réunissant une trentaine de participants et la sélection d'un sujet de thèse pour un financement Andra.

Entreposage des déchets HA-MAVL

L'Andra a finalisé en 2007 le programme d'études relatives à l'entreposage. Ce programme s'appuie sur le transfert des connaissances réalisé avec le CEA, conformément au PNGMDR, et sur les recommandations des évaluateurs. Les principaux livrables pour 2009 concernent le recensement des besoins d'entreposage, en lien avec la mise à jour de l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs, et la proposition d'options en matière d'entreposage.

Les études et recherches coordonnées par l'Andra visent à développer des concepts d'installations d'entreposage qui s'inscrivent au mieux dans une complémentarité avec le stockage, avec une optique d'optimisation des filières de gestion HA et MAVL et dans le respect du principe de réversibilité du stockage retenu par la loi. L'analyse de la complémentarité entre l'entreposage et le stockage conduit à rechercher des pistes pour (i) conforter la durabilité des futurs entrepôts²⁰ jusqu'à une durée d'ordre séculaire, (ii) accroître la polyvalence des installations, pour accueillir des colis de déchets d'origines diverses et gérer des colis qui seraient retirés du stockage, le cas échéant, et (iii) permettre de conditionner directement en colis de stockage les déchets destinés à un entreposage avant le stockage.

Entre autres grâce à son retour d'expérience, l'Andra a identifié les processus déterminants vis-à-vis de la durabilité des entrepôts et des colis entreposés afin de réaliser au mieux les études d'ingénierie

²⁰ La durée d'exploitation généralement considérée pour les installations d'entreposage existantes est de cinquante années.

et la programmation des recherches. En particulier, il est maintenant acquis que la durabilité et la robustesse d'un entreposage sur une durée séculaire reposeront sur :

- la maîtrise et le maintien de l'environnement interne en conditions sèches, via notamment des dispositions de conception liées au traitement de l'air,
- un choix de matériaux adaptés, en particulier des aciers inoxydables pour les zones potentiellement exposées à la corrosion, des formulations spécifiques de bétons pour minimiser la carbonatation atmosphérique,
- des solutions de conception amortissant les différentes sollicitations externes ou internes.

De premières solutions techniques innovantes ont été explorées pour renforcer la polyvalence des futures installations d'entreposage pour les déchets HA-MAVL. La perspective de créer au-delà de 2025 des installations d'entreposage de déchets HA ayant déjà vécu une première période de décroissance thermique (voir la section 3.1.2) offrirait un champ d'application particulièrement approprié à ces solutions.

Outre les installations en surface, l'Andra a étudié des concepts d'entreposage en faible profondeur, selon deux modes de réalisation possibles : en galerie souterraine ou en tranchée couverte. Les études ont montré une plus grande complexité des concepts techniques en galerie. Les avantages en matière de sûreté et de robustesse à l'échelle séculaire n'apparaissent pas déterminants

Conditionnement des déchets HA-MAVL

En complément des recherches menées dans les trois axes vus ci-dessus, des études sont menées concernant le conditionnement des déchets HA-MAVL.

La vitrification, mise en œuvre avec succès depuis plusieurs décennies 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 fission issues du traitement des combustibles usés (déchets HAVL). Des études ont été menées pour estimer les performances des verres en stockage géologique profond ainsi que les phénomènes physiques dominant sur le long terme. Par ailleurs, les recherches sur l'effet de l'augmentation de la teneur en actinides dans les verres ont montré le bon comportement du verre sous auto-irradiation. Ce résultat a conduit l'Autorité de sûreté nucléaire à donner fin 2008 l'autorisation de production relative à ce colis permettant ainsi à AREVA-NC de vitrifier l'ensemble des lots de solutions de produits de fission sans augmenter le nombre de colis produits par tonne de combustibles traités. Enfin, un nouveau procédé de vitrification mettant en œuvre un creuset froid, indispensable pour la vitrification de produits de fission au Molybdène (déchets historiques de La Hague), a été mis au point par le CEA. Ce procédé sera testé à l'échelle industrielle par AREVA à la Hague dès la fin 2009, en vue d'une industrialisation en 2010.

Pour les déchets MA-VL, 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, et a le cas échéant débouché sur des modèles opérationnels de comportement des colis. Une des principales questions à approfondir 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 (dossier Andra 2005). Un programme de R&D visant à améliorer les outils de modélisation pour la prévision de la production d'hydrogène et à identifier les productions de molécules hydrosolubles, produits de dégradation des polymères, susceptibles de complexer les radionucléides a été mis en place.

2.6. La cohérence globale de la gestion des matières et déchets radioactifs

2.6.1. Evaluation de l'exhaustivité des filières de gestion des déchets

Schématiquement, trois niveaux de développement pour les différentes filières de gestion des déchets radioactifs existent actuellement :

Etat	Catégories
Solution de gestion définitive existante	CSTFA mise en exploitation 2004
	CSFMA-VC mise en exploitation 1992
	Autres modes de gestions existants (stockages de résidus et stériles miniers, dépôts de déchets à radioactivité naturelle renforcée, centres de stockage de déchets conventionnels)
Solution de gestion définitive à l'étude (un processus de recherche active est lancé pour définir une filière)	HA MAVL
	FAVL
	Déchets tritiés (projet EDTSF du CEA)
	Sources scellées usagées
Pas encore de solution de gestion définitive existante ou en projet	Déchets sans filières

La très grande majorité des déchets radioactifs dispose d'une filière de gestion définitive existante ou d'un projet de filière. En particulier, pour les déchets tritiés et les sources radioactives scellées usagées, une stratégie de gestion et des filières sont désormais définies, ce qui constitue une avancée par rapport au PNGDMR 2007-2009. Toutefois, certains déchets n'entrent pour le moment dans aucune des filières de gestion définitive existantes ou en projet, en raison de caractéristiques physiques ou chimiques particulières. Ces déchets requièrent un traitement et/ou conditionnement spécifiques. Les principaux types de déchets actuellement en attente d'une solution de gestion sont listés ci-dessous.

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		

La partie 3.6.1 propose des actions pour remédier à cette absence de filière de gestion définitive pour certaines catégories de déchets.

2.6.2. Nécessité d'une optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion

La classification actuelle des déchets, par souci de simplification, est focalisée sur deux critères majeurs, le niveau d'activité et à la période des radionucléides présents. En réalité, de nombreux autres critères doivent être pris en compte afin de déterminer si un type de déchet peut être accepté dans une filière de gestion : chacun des centres de stockages de déchets actuels ou futurs est soumis à des contraintes d'exploitation et de comportement à long terme, qui induisent des critères

d'acceptation en termes de forme physique, toxicité chimique, puissance thermique, dégagement gazeux, etc. (exemple ci-dessous du CSTFA).

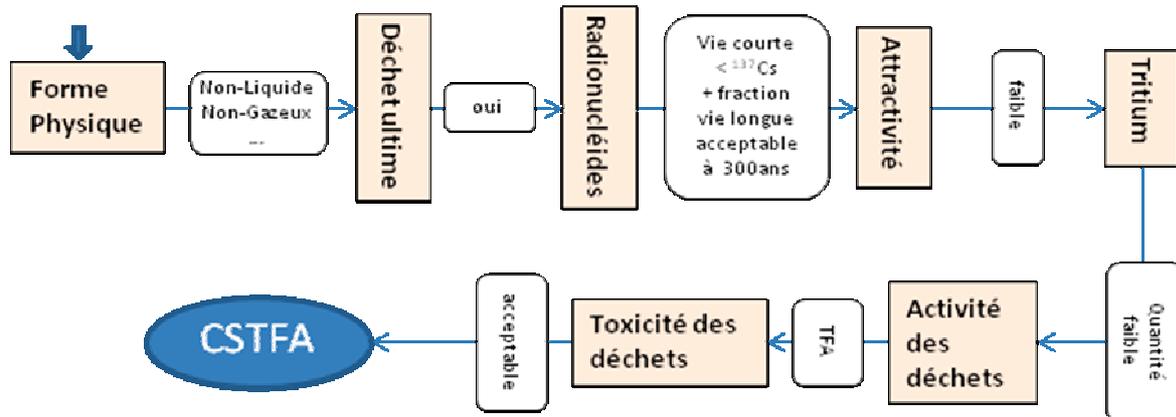


Figure 8. Critères d'acceptation au centre de stockage pour les déchets TFA

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 suite à la mise en service d'un nouveau stockage, ou l'émergence d'une nouvelle technologie de traitement de déchet, 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. Trois exemples sont donnés ci-dessous.

Comme les caractéristiques des filières FAVL et MAVL dépendent du choix de sites et de conditionnements non encore totalement définis, la gamme de déchets destinée à chacune de ces filières n'est pas encore définitivement arrêtée, ce qui induit une frontière floue entre ces deux filières de gestion. Certains types de déchets sont donc pris en compte dans le cadre des deux projets, à titre de précaution. La suite des études relatives au traitement, conditionnement des déchets d'une part et au développement des projets de stockage d'autre part permettra de préciser les inventaires de dimensionnement de chacune des filières FAVL et MAVL. En affinant le concept de stockage et les sites, des critères d'acceptation des déchets en stockage pourront être déterminés, précisant ainsi la frontière entre déchets acceptables en stockage FAVL et MAVL.

L'émergence de nouvelles filières peut amener à ajuster la gestion des déchets dans les filières existantes : pour le CSFMA-VC de l'Aube, l'Andra procède à une gestion prudente des radionucléides à vie longue et il est possible que les nouvelles filières, notamment FAVL, soient mieux adaptées pour gérer certains déchets de cette catégorie.

Enfin, le traitement, le tri et le conditionnement de déchets peuvent modifier l'orientation entre les stockages pouvant les accueillir, pour certains déchets dont les caractéristiques les situent à la frontière entre plusieurs filières potentielles : entre FMA-VC et FAVL, entre FAVL et MAVL, entre TFA et FAVL par exemple.

Des travaux pour établir un bilan plus précis des pistes d'optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion sont proposés dans la partie 3.6.2.

2.6.3. Etudes en sciences humaines et sociales

Dans une perspective de réflexion globale sur la gestion des matières et déchets radioactifs, et notamment afin d'améliorer la cohérence d'ensemble de leur gestion, de premiers travaux dans le domaine des sciences humaines et sociales ont été lancés.

En particulier, en réponse au PNGMDR précédent (relayé par la CNE) qui a demandé au CNRS de veiller à poursuivre des « efforts de réflexion et d'études en matière de sociologie et sciences

humaines », il a été décidé de lancer en 2008 au sein de PACEN le programme d'activité interne au CNRS, ACSSON (ACtion en Sciences SOciales sur le Nucléaire), détaillé dans la partie 3.6.3.

3. Améliorer la gestion des matières et déchets radioactifs

Sur la base du bilan détaillé dans la partie précédente, cette partie présente les actions à entreprendre pour améliorer la gestion des matières et des déchets radioactifs. Il s'agit à la fois d'améliorer les filières de gestion existantes, de consolider les projets de filières en développement, ainsi que de renforcer la cohérence de l'ensemble du dispositif.

3.1. L'entreposage des matières et déchets radioactifs

3.1.1. Actions à mener sur les anciens entreposages de déchets radioactifs

Actions et études à mener sur les entreposages de déchets radioactifs classés « Installations nucléaires de base »

Lors de la séance du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire du 23 septembre 2008, l'ASN avait pour ce qui concerne son champ de compétence, émis comme recommandation, la nécessité de veiller au respect des échéances annoncées par les exploitants des opérations de désentreposage et d'assainissement des installations. Ces opérations prennent trop souvent des retards et il convient de s'assurer que, dans l'attente d'un désentreposage complet, le niveau de sûreté des installations reste acceptable (cf. paragraphe 2.1.2 du présent rapport). L'article 2 du décret du 16 avril 2008 relatif au PNGMDR prévoit que « chaque producteur ou détenteur de déchets radioactifs précise dans sa déclaration [à l'Andra] les types d'entreposage utilisés, leurs durées de vie prévisionnelles et les capacités disponibles dans l'hypothèse où les solutions de gestion définitive de ces déchets sont encore à l'état de projets. » Sur la base des déclarations des producteurs de déchets, ces informations sont mises à jour tous les trois ans dans le cadre de l'Inventaire national (décret du 29 août 2008). Le paragraphe ci-dessous a pour objectif de dresser un état des lieux des actions engagées ou à engager pour chacun des sites concernés.

Les anciens sites d'entreposage d'AREVA à la Hague

Les principales difficultés rencontrées pour la gestion des déchets anciens entreposés sur le site d'AREVA à La Hague proviennent de l'absence de données de caractérisation précises des déchets rendant difficile le choix des solutions de reprise. Désormais, producteurs, ANDRA et ASN sont convaincus de l'absolue nécessité de disposer de données de caractérisation des déchets lors de l'élaboration de tout nouveau projet afin d'anticiper sur les moyens de conditionnement qui devront in fine être retenus. Une part de ces déchets est encore sous forme brute ou dans certains cas, peut nécessiter un reconditionnement. Conformément aux exigences de la loi du 28 juin 2006, cette opération devra être achevée en 2030.

Les boues de STE2

Au cours des dernières années, le traitement des boues de la STE 2 a fait l'objet d'actions de recherche et de développement, en particulier pour déterminer les modalités de reprise et de transfert nécessaires en préalable à tout conditionnement. Aujourd'hui, ces modalités sont acquises seulement pour deux cuves mais doivent être confirmées pour les autres. Les efforts doivent également porter sur le conditionnement en lui-même. Ainsi, à la suite du réexamen de sûreté de l'installation STE3, l'ASN a pris une décision interdisant le bitumage des boues de STE2 dans l'installation STE3. Dans cette même décision, l'ASN demande à l'exploitant la transmission, au plus tard au 1er janvier 2010, d'un rapport de sûreté correspondant aux aménagements nécessaires sur le site de La Hague pour la mise en œuvre du mode de conditionnement alternatif au bitumage des boues de STE2. La capacité de traitement de ces aménagements doit permettre une reprise de ces boues au plus tard au 31 décembre 2030.

Les silos HAO et SOC

Le décret n°2009-961 du 31 juillet 2009 autorise Ar eva à démanteler l'installation nucléaire de base n°80 dénommée HAO et qui comprend dans son périmètre les silos HAO et SOC. Le décret impose à l'exploitant un désentreposage du silo HAO avant la fin 2022. L'exploitant a présenté un scénario de démantèlement qui se décompose en cinq phases (de 2010 à 2020 pour le silo HAO ; de 2014 à 2025 pour le SOC) : les deux premières consistent en la reprise et le conditionnement des déchets de structure et des déchets technologiques du silo HAO. Les déchets ainsi repris seront transférés dans l'atelier ACC et conditionnés en colis CSD-C. La troisième phase comprend la reprise et le conditionnement des fines et des résines. La quatrième phase, la dernière pour le silo HAO, consiste en la reprise des déchets de fond de silo par un équipement mécanique adapté. La cinquième phase comprend la reprise des déchets du SOC avant d'être acheminés vers l'atelier ACC. Les opérations de reprise nécessitent en préalable le démontage des équipements implantés sur la dalle du silo, la construction de la cellule de reprise ainsi que la qualification des matériels à utiliser. Les premiers démontages ont déjà été réalisés. Certaines filières de traitement sont à l'étude (incinération des déchets technologiques, vitrification des fines et résines). Afin d'optimiser les délais, une reprise simultanée des fines et résines et des coques et embouts apparaît comme l'une des actions à privilégier.

Le silo 130

A la suite de l'annonce du report de la mise en place d'une filière de stockage des déchets graphite, l'exploitant a annoncé qu'il remettait en cause sa stratégie, mais que l'objectif de reprendre, avant 2030, les déchets contenus dans le silo 130 était maintenu. En conséquence, les opérations nécessiteront d'entreposer sur site les déchets repris. Dans ce cadre, le projet actuel de l'exploitant présente quatre phases. La première phase consiste à transférer les déchets UNGG, avant leur entreposage, dans l'atelier D/E EDS. La deuxième phase consiste en la vidange et le traitement de l'eau du silo dans les installations de STE. Les dernières phases permettront de reprendre les déchets de fond de silo ainsi que les gravats. L'ASN a autorisé en juillet 2008 les travaux préliminaires d'aménagement et notamment l'implantation des cellules de reprise et d'évacuation des déchets du silo vers l'atelier D/E EDS d'UP3 A, dans l'attente de l'ouverture d'une filière de stockage en subsurface. Le démarrage des premiers essais sur site est programmé en 2010.

Les déchets alpha du bâtiment 119

Le plan de reprise des déchets permettra une reprise des déchets alpha du bâtiment 119. A la fin de l'année 2007, 2700 fûts anciens ont déjà été traités ; 2300 restent à traiter. A l'horizon 2013, l'ensemble des déchets anciens du bâtiment 119 aura été repris. Areva mène par ailleurs des réflexions en vue de reprendre, en ligne, les déchets alpha provenant des usines françaises de fabrication du combustible MOX ainsi que ceux du site de La Hague.

Les anciens sites d'entreposage d'EDF

Les silos de Saint-Laurent

L'installation des silos de Saint-Laurent-des-Eaux n'est pas à l'origine d'une contamination de l'environnement mais nécessite un renforcement de sa capacité de confinement. Dans cette optique, l'ASN a donné son accord à la mise en œuvre d'une enceinte géotechnique de renforcement dans l'attente des opérations de désilage, lesquelles sont assujetties à l'ouverture du centre de stockage des déchets de graphite. Les travaux de mise en œuvre de cette solution de renforcement se dérouleront sur l'année 2010.

Les buttes de Bugey

Certains déchets de très faible activité ont pu par le passé faire l'objet d'une gestion sur site ou d'un envoi vers des centres d'élimination de déchets conventionnels, à partir du moment où le niveau d'activité des déchets était jugé suffisamment faible. Cette pratique a cessé après l'adoption de l'arrêté du 31 décembre 1999 qui comportait des dispositions spécifiques et renforcées sur la gestion des déchets de très faible activité provenant des installations nucléaires de base. Les déchets de très faible activité sont ainsi stockés par l'ANDRA au centre de stockage de Morvilliers. Le cas de la butte de déchets très faiblement radioactifs redécouverte à Bugey en 2006 nécessite que les exploitants examinent la possibilité que des stockages historiques similaires existent dans d'autres INB.

D'ici la mi-2010, les exploitants proposeront un programme en vue de vérifier qu'il n'existe pas dans le périmètre de leurs installations ou de leurs centres, de stockages historiques de

déchets qui n'auraient pas été mentionnés lors des déclarations à l'Andra pour l'inventaire national établi en 2009.

Le cas des buttes de Bugey ne constitue pas à ce jour un réel enjeu en matière de radioprotection ou de protection de l'environnement, notamment du fait de la très faible activité contenue dans ces buttes. Il pose toutefois la question du devenir de ce type de déchets lorsque les installations nucléaires du site de Bugey seront mises à l'arrêt définitif et démantelées. Il conviendra notamment qu'EDF précise ses intentions quant au devenir de ce type de dépôt. Il devra en particulier le faire dans le cadre du plan de démantèlement qui est désormais requis par le décret du 2 novembre 2007.

Les anciens sites d'entreposage du CEA

Centre de Cadarache

L'INB 22-PEGASE

Le projet relatif à la reprise des fûts plutonifères de PEGASE et leur conditionnement en colis cimentés en vue de leur entreposage dans l'INB CEDRA reste prioritaire. Le CEA s'est engagé sur une fin des opérations de désentreposage au 31/12/2010. Concernant les combustibles non araldités, le CEA s'est également engagé à terminer le désentreposage au plus tard le 31/12/2010. Ces combustibles seront entreposés ensuite dans l'installation CASCAD après un reconditionnement (installation STAR).

L'INB 56 - Le parc d'entreposage de Cadarache

- Pour ce qui concerne les fosses, alors que la stratégie initiale, privilégiait une méthodologie de reprise par type de déchets (démarrage par les colis conditionnés bloqués des fosses F5, F6 et des alvéoles aménagés de F3 pour terminer quelques années plus tard par la reprise des déchets en vrac issus des fosses F1 à F4), une nouvelle stratégie a scindée le projet FOSSEA en deux sous-projets, FOSSEA-RFR pour reprise des fosses récentes et FOSSEA - RFA pour reprise des fosses anciennes. En particulier, au niveau des fosses anciennes, la reprise est réalisée par fosse, quelque soit le conditionnement des déchets, afin d'éviter de reporter en fin de chantier la reprise des déchets en vrac (ces déchets étant, en cas de perte d'étanchéité des fosses, les plus problématiques vis-à-vis de l'environnement). Le projet FOSSEA prévoit donc la reprise et le reconditionnement de l'ensemble des colis pour un entreposage à CEDRA, après caractérisation complémentaire et reconditionnement éventuels. Un document de présentation des choix techniques et options de sûreté concernant la fosse F3 a été remis à l'ASN en 2007. Le CEA a été informé en juillet 2008 qu'à ce stade, les options de choix techniques et de sûreté présentées sont satisfaisantes. Le CEA s'est engagé à débiter le désentreposage de cette fosse. Concernant les fosses F5-F6, le CEA a transmis un dossier de sûreté relatif aux opérations de reprise en avril 2008. Le CEA s'est engagé à ce que la reprise de ces fosses soit terminée fin 2013.
- Pour ce qui concerne les tranchées, la reprise a débuté en 2005 après plusieurs phases d'essais mais a dû être suspendue en septembre 2006 pour des raisons de sécurité (stabilité des talus de la tranchée). Concernant cette reprise des déchets en tranchées, les retards sont dus à des difficultés opérationnelles, à une mauvaise estimation du volume de terre à extraire avant d'arriver aux déchets, à une sous-estimation du volume de déchets et à une mauvaise évaluation de leur activité (émetteurs alpha majoritaires). Le chantier, à l'arrêt depuis septembre 2006, devrait reprendre après la mise en place de confortement des talus sur la tranchée en cours de reprise et le choix d'un nouveau prestataire.

Centre de Saclay

L'INB 35 - Le désentreposage des concentrats est en cours et les opérations de reprise seront terminées à fin 2013.

L'INB 72 -

Conformément aux engagements du CEA relatifs au désentreposage des stocks de combustibles en piscine et en massif et à la préparation du désentreposage des combustibles en puits les actions devraient être achevées avant 2017 pour les combustibles en massifs et en piscines et au plus tôt en 2019 pour les combustibles en puits. De nombreux projets de réduction du terme source sont en cours.

Centre de Grenoble

Le passage en phase de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement (MAD-DEM) de l'installation nucléaire de base INB 79 a fait l'objet d'un décret qui prévoit que l'ensemble des déchets irradiants de l'INB 79 doivent être évacués au plus tard le 31 décembre 2010. La filière d'élimination passe par les installations d'entreposage et de conditionnement de Cadarache (INB37, Cedra) ou celle de Saclay (INB 72). Le CEA a déjà engagé les opérations d'évacuation.

Centre de Fontenay

Les déchets seront évacués dans le cadre du démantèlement et de l'assainissement du centre vers des filières définitives ou temporaires (notamment INB 36 et INB72).

Actions et études à mener sur les installations d'entreposage classés « Installations nucléaires de base classées secrètes »

Lors de la séance du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire du 23 septembre 2008, le DSND avait rappelé qu'il suivait attentivement les programmes de reprise des déchets anciens et de transfert des colis de déchets vers des stockages définitifs en fonction de la disponibilité des filières d'élimination.

Concernant l'INBS de Marcoule, pour les déchets ne disposant pas à ce jour de filière d'élimination, une stratégie a été mise en place, reposant sur des travaux d'amélioration des entreposages existants pour les entreposages anciens dont la reprise ne peut être réalisée rapidement (par exemple, les travaux d'étanchéité des toitures des casemates) et sur l'extension d'installations existantes ou la construction d'installations neuves pour permettre la réalisation des programmes de reprise des déchets anciens (par exemple, alvéoles supplémentaires de l'EIP « entreposage intermédiaire polyvalent » ou nouvel entreposage de colis de stockage FA/MAVL, nouvel atelier UCDA). Toutefois, pour les déchets non immobilisés qui représentent un terme source important, le DSND a demandé au CEA de nouvelles propositions d'amélioration de la sûreté des conditions d'entreposage et de nouvelles propositions de planning de reprise avec une priorité donnée aux déchets non immobilisés pour évacuation vers des exutoires existants ou transfert vers des entreposages plus sûrs.

Concernant les déchets de type HA (colis de déchets vitrifiés), l'instruction du réexamen de sûreté de l'installation d'entreposage de l'atelier de vitrification de Marcoule a conduit le DSND à demander des compléments de démonstration au CEA pour statuer sur la pérennité de cet entreposage jusqu'à la fin de reprise des colis pour leur mise en stockage géologique profond. **Des interfaces d'expédition des colis MAVL et HA vers le centre de stockage devront être développées par le CEA, en tenant compte des possibilités techniques en matière de transport, des besoins prévisionnels en contrôles et en reconditionnement en vue du stockage, et des possibilités de mise en stockage dans le temps. Une identification des options techniques et une première analyse des modalités de transport seront effectuées par le CEA en concertation avec l'Andra pour fin 2011**, notamment en vue de la présentation de scénarios entreposage-transport-stockage au prochain débat public sur le projet de centre de stockage géologique profond.

Concernant l'INBS de Pierrelatte, les barrières de diffusion et les déchets technologiques présents dans « la butte » doivent être évacués vers des centres de stockage de l'Andra avant 2013. Le devenir des fluorines et des boues riches en chrome est à l'étude. Le DSND a demandé à l'exploitant une reconstitution de l'historique des fosses de déchets de la zone nord ainsi qu'un plan de réhabilitation. La caractérisation, la reprise, le conditionnement et l'évacuation des déchets vers une filière autorisée sont en cours d'étude.

Concernant les déchets tritiés de l'INBS de Valduc, les conditions de sûreté des entreposages actuels de déchets tritiés, à court et moyen termes, sont jugées satisfaisantes, les solutions à long terme étudiées sont cohérentes avec les orientations présentées dans l'étude rendue par le CEA fin 2008 conformément au décret PNGMDR, pour les catégories de déchets produites sur ce site.

De manière générale, la reprise des déchets nécessite la définition de solutions de conditionnement et donc a minima la connaissance des principaux critères - sinon la connaissance détaillée - des

spécifications des colis pour les stockages en cours d'étude. Ce travail nécessite donc des échanges entre les producteurs de déchets et l'Andra.

Actions et études à mener sur les installations d'entreposage hors « Installations nucléaires de base » » et hors « Installations nucléaires de base secrètes »

Le site de Rhodia à La Rochelle

Le devenir des matières entreposées par Rhodia à La Rochelle est abordé à la section 3.2.1.

Le site de l'entreprise CEZUS à Jarrie

Les conditions de gestion des déchets entreposés sur le site de l'entreprise CEZUS à Jarrie sont satisfaisantes et n'appellent pas d'actions à court terme. Les conditions de reprise de ces déchets ont été discutées et la filière d'élimination retenue est celle du centre de stockage de déchets radioactifs de faible activité à vie longue. Les capacités d'entreposage permettent, d'après l'exploitant, de couvrir les prévisions de production des déchets en accord avec le calendrier prévu pour la mise en service du centre de stockage FA-VL.

Le site de COMURHEX à Malvézi

L'entreposage de déchets dans les bassins de décantation nécessitent des dispositions en vue de poursuivre l'amélioration du confinement des déchets et de limiter le transfert de contamination vers la nappe. Certains bassins font l'objet d'une modification administrative en vue d'un classement en INB compte tenu de l'évolution de leur exploitation, des quantités entreposées et de la présence de radionucléides artificiels issus d'activités industrielles passées de l'installation (utilisation de l'uranium de retraitement).

AREVA remettra, fin 2011 une étude proposant des filières sûres de gestion à long terme des déchets contenus dans les bassins ainsi que des modalités de gestion des nouveaux déchets produits par le fonctionnement des installations.

Par ailleurs, les travaux entamés dans le cadre du chantier « COMURHEX II » Pierrelatte font actuellement l'objet d'engagements de la part de COMURHEX en matière de traitement des terres excavées marquées à l'uranium de retraitement. En l'absence de filière, COMURHEX s'engage à éliminer l'ensemble des terres marquées à l'uranium de retraitement à l'Andra au plus tard au 1^{er} Juillet 2014. Pendant ces phases de travaux, une surveillance renforcée des piézomètres en aval des affouillements à mettre en place permettra de contrôler toute contamination de la nappe.

3.1.2. Projets de création d'installations d'entreposage

L'analyse de l'adéquation entre capacités d'entreposage et volumes de déchets radioactifs ne disposant pas encore de filière de gestion à long terme reste à préciser pour certaines catégories de déchets, en particulier pour les déchets radifères. Afin de compléter le bilan présenté dans la partie 2.1.4, **l'Andra analysera en concertation avec les exploitants l'adéquation des capacités d'entreposage disponibles pour les déchets FAVL à l'inventaire prévisionnel de ces déchets et aux possibilités de stockage FAVL.** Cette analyse sera réalisée à une échéance à déterminer en cohérence avec l'évolution future du projet FAVL.

Sur la base du bilan existant (cf. 2.1.4), l'essentiel des créations et extensions d'entreposages nécessaires peuvent d'ores et déjà être anticipées. Elles sont présentées ci-dessous à différents horizons temporels : avant 2015, entre 2015 et 2025, après 2025.

Création ou extension d'installations d'entreposage d'ici 2015 (hors déchets tritiés traités au chapitre 3.5.1)

En complément aux installations d'entreposage existant sur les sites de production de déchets, les créations et extensions d'installations projetées par AREVA, le CEA et EDF d'ici 2015 permettront de répondre, en termes de capacité et de durée, aux besoins d'entreposage liés aux colis de déchets HA et MAVL produits à cet horizon.

Les projets correspondants sont : l'extension de l'entreposage des verres sud-est (E-EV-SE) à La Hague (Areva), la réalisation des tranches 2 et 3 de l'installation de conditionnement et d'entreposage des déchets radioactifs (CEDRA) à Cadarache (CEA), la création de l'installation DIADEM à Marcoule (CEA) et celle de l'installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés (ICEDA) sur le site du Bugey (EDF).

La coopération entre Areva et l'Andra sur le projet d'extension à La Hague a conduit à intégrer des évolutions de conception et des dispositions d'observation qui permettent d'envisager une durabilité supérieure à celle des installations existantes.

La collaboration entre les exploitants d'entrepôts et l'Andra sera ainsi 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 ou de conditionnement et le futur centre de stockage géologique profond.

Dans ce cadre, EDF et l'Andra coopéreront sur la conception de l'entreposage d'ICEDA, en particulier les dispositions d'observation et de surveillance qui permettront de mieux suivre l'évolution dans le temps des structures d'entreposage et des colis entreposés. Outre les colis MAVL, ICEDA accueillera des colis de la filière FMA-VC en transit, ainsi que des colis FA-VL en attente de stockage.

Par ailleurs, **l'Andra créera une installation d'entreposage pour les déchets du nucléaire diffus en visant une mise en service industrielle en 2012**. Les déchets concernés sont principalement rattachés à la filière FAVL et proviennent notamment d'activités historiques telles que la manipulation et l'utilisation du radium dans la première moitié du XX^{ème} siècle. Cette installation serait éventuellement couplée à une installation de regroupement des déchets des "petits producteurs" (secteur hospitalo-universitaire et de la recherche), et aurait une capacité aujourd'hui évaluée à environ 3 500 m³.

Création ou extension d'installations d'entreposage de 2015 à 2025

Dans la décennie 2015 – 2025, d'autres créations ou extensions d'installations d'entreposage seront nécessaires. Sont concernés sur les sites de production ou de conditionnement suivants :

- l'entreposage des colis de boues bitumées et déchets solides à Marcoule en attente de mise en stockage, en complément de l'installation d'entreposage intermédiaire polyvalent : EIP ;
- une extension des capacités d'entreposage des déchets de structure et technologiques compactés à La Hague (ECC) ;
- une nouvelle extension de E-EV-SE à La Hague.

Au-delà de l'utilisation des capacités d'entreposage disponibles à Marcoule (voir la section 2.1.2 et l'annexe correspondante), la poursuite d'une mise en fûts EIP n'apparaît pas la stratégie la plus appropriée aux colis de boues bitumées. Une stratégie plus favorable consiste à les placer directement dans un conteneur de stockage, sur le site de Marcoule²¹. Cette stratégie pourra être étendue aux déchets solides MAVL du site de Marcoule.

Cette option diminue globalement le nombre de transferts et de manutentions de colis à réaliser. Elle offre pour les colis de boues bitumées un gain très important de ressource de stockage, en diminuant

²¹ Dans le dossier 2005 sur le stockage géologique profond, l'ensemble des boues bitumées et déchets solides de Marcoule était envisagé d'être placés en conteneurs de stockage sur le site de stockage.

(de l'ordre de 40 %) le volume final des colis de stockage. Le volume et le coût de stockage sont diminués.

Une mise en conteneur de stockage MAVL pourra être réalisée sur le site de Marcoule à partir de la date d'autorisation de création du centre de stockage géologique profond (soit à l'horizon de 2017). La conception définitive du conteneur pourra ainsi intégrer les exigences provenant de la future loi fixant les conditions de la réversibilité, ainsi que les prescriptions techniques suite à l'instruction de la demande d'autorisation de création du stockage. Cependant, une telle stratégie suppose que la conception et la construction de l'atelier de conditionnement anticipent sur les spécifications d'acceptation des colis en stockage, qui elles aussi ne pourront être finalisées qu'après l'autorisation de création. La conception de l'atelier de conditionnement intégrera une flexibilité suffisante pour s'adapter à des évolutions des spécifications de ce conteneur.

Une telle stratégie étendue aux déchets solides ne nécessite pas la construction d'alvéoles supplémentaires à l'EIP. En revanche, les colis de stockage MAVL constitués à partir de 2017 devront être entreposés dans une nouvelle capacité d'entreposage, à mettre en exploitation en 2017. Cette nouvelle capacité sera aussi amenée à accueillir des colis rattachés à la filière FAVL, et qui seront aussi conditionnés sur le site en conteneur de stockage.

Une mise en stockage des colis de boues bitumées MAVL et potentiellement de déchets solides de Marcoule à partir de la mise en exploitation du projet de centre de stockage géologique profond ouvre la possibilité d'une optimisation d'ensemble du système, en limitant les capacités d'entreposage nouvelles à créer. Le CEA et l'Andra étudieront ce scénario de manière concertée d'ici fin 2012.

L'étude traitera en particulier de la faisabilité des conteneurs de stockage en vue de leur conception, de celle de l'installation d'entreposage à créer²², des possibilités de transport jusqu'aux centres de stockage, et des possibilités de mise en stockage au cours du temps et à la prise en compte de la réversibilité²³ du stockage géologique profond. Cette étude sera suivie par un groupe de travail réunissant le CEA, l'Andra, le DSND et l'ASN. Compte tenu de la place des transports dans le caractère opérationnel de ce scénario, le CEA en analysera les possibilités et les limites pour 2010.

Areva, l'Andra et EDF étudieront pour fin 2012 les scénarios de désentreposage et de transport des colis de déchets de structure et technologiques compactés (CSD-C) ainsi que les besoins en capacités d'entreposage supplémentaires à créer d'ici 2025 sur le site de La Hague²³, en tenant compte d'une possibilité de mise en stockage de colis CSD-C dès la décennie 2025-2030

Areva, EDF et l'Andra analyseront d'ici fin 2012 la faisabilité de principe d'intégrer les extensions d'E-EV-SE à La Hague dans le dispositif de soutien à la réversibilité²⁴ du stockage géologique profond, en vue de la présentation de scénarios de gestion entreposage-transport-stockage au prochain débat public sur le projet de centre de stockage géologique profond.

Parallèlement aux projets ci-dessus, l'Andra et les producteurs de déchets FAVL concernés examineront l'intérêt et les possibilités d'intégrer des capacités d'entreposage supplémentaires au futur centre de stockage à faible profondeur ou sur les sites de production ou de conditionnement, afin d'offrir une plus grande flexibilité à la gestion de ces déchets. Les familles de déchets potentiellement concernés seront identifiées, compte tenu des capacités d'entreposage existantes et des perspectives de production de déchets ; les capacités à prévoir seront estimées en lien avec les schémas possibles d'exploitation du centre de stockage.

²² Le CEA a lancé le projet sous l'appellation d'installation d'attente d'évacuation (IAE).

²³ La mise en stockage de déchets MAVL pourrait impliquer de disposer d'une capacité d'entreposage pour accueillir des colis dans l'éventualité d'un retrait du stockage. Il s'agirait alors de créer cette capacité sur le site de stockage ou d'utiliser une installation d'entreposage sur le site de production.

²⁴ Une capacité potentielle d'accueil de colis HA qui seraient retirés du stockage pourrait être localisée sur le site de stockage ou bien relever d'entrepôts à créer à Marcoule ou à La Hague. Les études sur l'entreposage réalisées de 2006 à 2009 indiquent qu'une mutualisation du dispositif entre les déchets HA de Marcoule et de La Hague serait techniquement envisageable.

Création ou extension d'installations d'entreposage au-delà de 2025

Dans la décennie 2025 - 2035, les nouveaux besoins d'entreposage seront liés aux activités industrielles des usines UP2-800 et UP3 de La Hague, notamment avec le démarrage du traitement des combustibles MOX en dilution avec les combustibles UOX et URE, et à la poursuite des opérations de reprise et conditionnement de déchets anciens (dont la loi programme l'achèvement à 2030), ou de reconditionnement de colis anciens, à Cadarache, Marcoule et La Hague. Les colis de conditionnement des boues de la station STE2 de La Hague sont encore à l'étude, leur volume déterminera précisément les capacités d'entreposage à mobiliser respectivement dans les bâtiments S et ES du site.

La production de colis de déchets solides cimentés en conteneur béton de fibres CBF-C'2 et de colis de déchets alpha continuera au-delà de 2040, dans le cadre du démantèlement des usines UP2-800 et UP3.

La mise à l'arrêt définitif des installations d'entreposage des colis de déchets solides : EDS/ADT2, EDS/EDT-EDC, et des colis de boues : Bâtiments S et ES de La Hague, qui sont aujourd'hui prévues simultanément en 2040, devront être anticipées. Une mise en stockage géologique profond des colis MAVL qui y sont entreposés est envisageable à partir de la décennie 2035-2045. Parallèlement, un renouvellement partiel des capacités d'entreposage sera nécessaire. Les installations à créer à l'horizon 2040 permettront en particulier de poursuivre et de surveiller la décroissance du dégagement d'hydrogène des colis de déchets alpha compactés, si ce mode de conditionnement est retenu.

Les entreposages EIP à Marcoule et CEDRA à Cadarache ont une durée d'exploitation prévue de 50 ans. Il en est de même des installations à créer d'ici 2015 (DIADEM, ICEDA). Dans une optique d'optimisation de la filière MAVL, cela ouvre la possibilité de différer la mise en stockage des colis de déchets qui y sont ou seront entreposés.

Les mises à l'arrêt définitif des installations d'entreposage des colis de déchets HA vitrifiés : R7, T7 et E-EV-SE à La Hague, et de combustibles usés : CASCAD à Cadarache sont aujourd'hui prévues en 2040.

Une mise en stockage à cet horizon des familles les moins exothermiques est envisageable. Cependant une grande partie des colis HA de La Hague ne seront acceptables en stockage qu'après au moins 60 ans d'entreposage, soit 2050 pour les colis de ce type les plus anciens (famille F1-3-01 de l'Inventaire national). Ce délai, combiné à la production de colis au-delà de 2040, conduira à de nouveaux besoins de capacités d'entreposage. A l'horizon 2050, la question pourra se poser d'une mise en stockage des premiers colis de la famille F1-3-01 ou d'un prolongement de la phase d'entreposage de décroissance thermique ; un tel prolongement permettrait de diminuer la consommation de ressource de stockage, mais induirait des besoins d'entreposage supplémentaires et modifierait les chroniques d'exploitation du stockage. La progressivité des besoins pour les déchets HA montre la nécessité d'une organisation modulaire du système d'entreposage. Au-delà de 2025 s'ouvre la possibilité de concevoir des modules d'entreposage pour accueillir des colis HA dont la puissance thermique aura préalablement décru (typiquement de l'ordre de 700 à 1 000 W, au lieu des 2 000 W considérés pour E-EV-SE et son extension).

L'Andra précisera d'ici fin 2012, en concertation avec les producteurs de déchets, les scénarios envisageables de gestion de l'ensemble des colis de déchets HA et MAVL destinés au projet de centre de stockage géologique profond. Il s'agira notamment d'étudier les chroniques d'entreposage, de désentreposage, de conditionnement, de transport et de mise en stockage, ainsi que les besoins en entreposage en résultant, en vue du prochain débat public sur le projet de stockage. Les producteurs définiront en cohérence les solutions de transport à mettre en œuvre et vérifieront avec l'Andra la compatibilité de ces solutions avec leurs installations actuelles et futures.

On analysera notamment la pertinence de pourvoir aux besoins en entreposage au-delà de 2025 par des capacités d'entreposage intégrées au centre de stockage géologique profond, au lieu de la création ou de l'extension d'installations sur les sites de production ou de conditionnement. Cela consisterait soit à mobiliser des installations nécessaires en tout état de cause au transit des colis sur

le centre (entre leur arrivée depuis les sites de production ou conditionnement, leur déchargement et leur contrôle, leur conditionnement éventuel en conteneur de stockage et leur transfert dans les installations souterraines) soit à créer des installations dédiées à un entreposage d'attente. L'option d'un entreposage, sur le site de stockage, de déchets HA pour une deuxième phase de décroissance thermique, entre dans le second cas. Les études de scénarios de gestion des colis de déchets HA et MAVL compareront ainsi pour le débat public l'option d'un entreposage sur le centre de stockage lorsqu'elle est envisageable, à celle d'un entreposage sur les sites de production ou de conditionnement, aux plans de la sûreté, de l'impact (environnemental et socio-économique), du coût et de la réversibilité.

La durée prévisionnelle d'exploitation de cette future génération d'installations d'entreposage est de l'ordre d'une centaine d'années, cohérente avec la durée d'exploitation prévisible du centre de stockage géologique profond, la décroissance thermique des déchets HA et la durée de réversibilité d'au moins cent ans fixée par la loi.

Les conclusions de l'ensemble des travaux demandés dans cette partie (3.1.2) concernant les déchets HA-MAVL seront synthétisées par l'Andra dans le dossier qu'elle remettra fin 2012 concernant l'entreposage (cf. 3.5.4).

Les conclusions des travaux demandés dans cette partie concernant les déchets FAVL seront également synthétisées par l'Andra dans un rapport à remettre à une échéance à déterminer ultérieurement en fonction de l'évolution du projet FAVL (cf. 3.5.4).

3.2. La gestion à long terme des matières valorisables

3.2.1. Recherches sur la connaissance et le comportement de certaines matières

La connaissance de l'évolution des combustibles usés sur de longues périodes mérite d'être approfondie. Actuellement en effet, seulement une partie des combustibles UOX sont traités, le reste des combustibles UOX et les combustibles MOX étant entreposés. Or le traitement différé de ces combustibles est prévu en cohérence avec le déploiement éventuel d'un parc de réacteurs de 4ème génération, ce qui conduit à des durées d'entreposage industriel en piscine au-delà du retour d'expérience actuel. **Des études et recherches continueront donc à être menées sur la connaissance du comportement des combustibles usés (UOX et MOX en attente de retraitement) sur les durées d'entreposage envisagées, en particulier concernant la connaissance de l'évolution de la gaine et de l'assemblage dans les conditions de transport et d'entreposage prolongé sous eau.**

3.2.2. Appréciation du caractère valorisable des matières radioactives

Les combustibles usés

La majorité des combustibles usés constitue des matières valorisables. En particulier, la valorisation des combustibles usés civils à l'uranium est une opération déjà largement mise en œuvre au plan industriel pour les combustibles UOX. Pour les combustibles MOX comprenant du plutonium, la faisabilité du traitement a été démontrée. De même, à l'exception de faibles quantités de certains combustibles usés de réacteurs de recherche (cf 2.2), la faisabilité du traitement, à l'échelle industrielle, des combustibles des réacteurs de recherche et de propulsion nucléaire navale est confirmée.

L'uranium et le plutonium

Les éléments exposés dans la partie 2.2 montrent, au plan industriel, le caractère valorisable des matières produites par la filière « uranium » et la filière « plutonium » de production d'électricité. Toutefois, en complément, **les exploitants nucléaires préciseront d'ici fin 2010 le devenir de l'uranium à l'issue d'un deuxième recyclage éventuel et analyseront le caractère, valorisable ou non, des combustibles usés issus des réacteurs à eau lourde EL1, EL2 et EL3 et du réacteur G1 de type UNGG.**

L'uranium appauvri présente un potentiel de valorisation. Il peut être :

- enrichi au même titre que l'uranium naturel ;
- utilisé dans les combustibles MOX;
- utilisé dans les potentiels futurs réacteurs de 4ème génération. Ces technologies permettront de tirer partie de la totalité du potentiel énergétique de l'uranium en consommant l'uranium 238, aujourd'hui non valorisé (l'enrichissement de l'uranium appauvri permet d'en valoriser le contenu en uranium 235 mais pas celui en uranium 238).

La disponibilité d'ores et déjà effective des deux premières filières de valorisation justifie à elle seule que l'uranium appauvri constitue une matière radioactive, au sens que son utilisation est prévue ou envisagée.

En ce qui concerne l'uranium 238 contenu dans l'uranium appauvri, issu du retraitement ou non, il pourra être valorisé sur le très long terme, dans les réacteurs de 4ème génération. Il représente une ressource pour plusieurs millénaires. Ceci est dû à la fois à la grande performance attendue des réacteurs de 4ème génération et au fait que l'uranium naturel contient environ 150 fois plus d'uranium 238 que d'uranium 235.

Il va de soi que préserver cette ressource n'autorise aucunement à s'exonérer de gérer aujourd'hui ces matières dans les meilleures conditions environnementales. Bien évidemment, au cas où les réacteurs de 4ème génération ne pourraient être développés, ces matières deviendraient des déchets une fois que leur contenu en uranium 235 ne sera plus intéressant. Elles devraient alors être gérées comme des déchets sur le long terme. Cette stratégie de long terme s'inscrit dans le cadre fixé par la loi du 28 juin 2006 de programme de gestion durable des matières et déchets radioactifs.

Concernant le plutonium, EDF estime que la quantité totale de plutonium mobilisable à l'horizon 2040 (y compris dans les combustibles usés et les « derniers cœurs ») devrait être de l'ordre de 505 à 565 tonnes. Cette quantité permettrait de démarrer environ 25 réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération de 1450 Mwe du type proposé dans les études du CEA, selon une chronique dépendant notamment des capacités de traitement des combustibles usés. L'ordre de grandeur de la quantité de plutonium disponible à cet horizon est donc cohérent avec un scénario de remplacement progressif du parc actuel par des réacteurs de quatrième génération. Le caractère valorisable du stock de plutonium prévu à l'horizon 2040 est donc confirmé.

Les matières en suspension

L'étude de Rhodia mentionnée au 2.2 a identifié des perspectives de traitement et de valorisation des terres rares contenues dans les matières en suspension que possède l'entreprise. Le caractère valorisable de ces matières est ainsi confirmé.

Le thorium

Concernant les matières thorifères, aucune filière n'est aujourd'hui opérationnelle pour la valorisation des quantités détenues par AREVA et RHODIA. Il existe en outre de fortes réserves quant au développement à court ou moyen terme d'une filière de valorisation grâce à des réacteurs utilisant le thorium comme combustible. La mise au point des procédés et la conception des différents types de réacteurs utilisant le thorium nécessitent encore en effet, pour être résolus, un effort de recherche et développement important. En outre, l'économie des ressources en uranium que pourrait apporter cette filière reste à démontrer. Au vu de ces fortes réserves quant aux perspectives de valorisation du

thorium à court ou moyen terme, des recommandations spécifiques sont présentées dans la partie 3.2.3 pour le cas où cette matière serait in fine considérée comme un déchet.

3.2.3. Options de gestion si les matières devaient être considérées comme des déchets ultimes

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 que cette condition soit remplie à très longue échéance, il paraît important d'examiner les options de gestion possibles pour ces matières si elles devaient à terme être considérées comme des déchets.

A titre conservatoire, les combustibles usés ont été systématiquement inclus dans les études de faisabilité des concepts de stockage géologique, ce qui a également permis de comparer plus facilement les concepts français et internationaux, un grand nombre de pays envisageant le stockage à long terme direct des combustibles usés sans traitement.

En revanche, les options de gestion à long terme en cas de non-valorisation d'autres matières telles que l'uranium appauvri nécessitent des investigations plus poussées. Les propriétés de l'uranium appauvri, en termes de contenu radiologique, sont en effet de quelques dizaines de milliers de Bq/g avec des radioéléments à vie longue. La situation est notablement différente des résidus miniers ou des déchets radifères, pour lesquels la radioactivité est diluée dans un volume important de matériau non radioactif. Ainsi, l'uranium appauvri ne pourrait pas être considéré comme un déchet TFA (la limite pour l'uranium 235 et 238 au centre de stockage TFA est de 100 Bq/g), ni même comme un déchet stockable en surface dans les installations actuellement en exploitation (les limites de réception pour les émetteurs alpha au centre de l'Aube sont de 3700 Bq/g en moyenne par colis, mais de 370 Bq/g en moyenne dans l'ensemble du stockage).

Il est donc nécessaire d'examiner quel type de stockage serait compatible avec les propriétés de l'uranium appauvri. Dans tous les cas, les ordres de grandeur des volumes considérés, s'il fallait considérer ces matières comme des déchets, sont de nature à modifier considérablement l'ampleur des projets de stockage. Il faut donc souligner que si ces matières venaient à être considérées un jour comme des déchets, il serait nécessaire de les prendre en compte pour dimensionner les filières de gestion à long terme correspondantes ; elles ne pourraient pas être prises en charge de façon marginale, comme pour certains déchets historiques.

Dans ce contexte, en cohérence avec les prescriptions du PNGMDR précédent, **l'ensemble des propriétaires de matières radioactives valorisables mènera 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.**

Pour le cas particulier du thorium, AREVA et RHODIA mèneront de manière approfondie ces études sur les filières possibles de gestion dans le cas où ces matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets à court, moyen ou long terme. Ils examineront en particulier, en lien avec l'Andra, la possibilité et les conséquences, notamment en termes d'emprise, de conception et de coût, de leur prise en charge dans les centres de stockage existants ou envisagés. Par ailleurs des réflexions seront menées sur l'opportunité et la faisabilité d'un mécanisme pour sécuriser financièrement la gestion à long terme de ces matières pour le cas où elles seraient in fine qualifiées de déchets.

Enfin, de façon plus spécifique, des études sur le comportement à long terme de combustibles usés qui seraient stockés sans retraitement préalable seront poursuivies dans le cadre d'un partenariat CEA-EDF-Andra (notamment concernant l'influence de la composition de l'eau de site et des matériaux d'environnement sur l'altération). Ces études doivent permettre de disposer fin 2010 d'un modèle de relâchement des radionucléides dont l'objectif est d'être moins majorant que celui retenu pour le dossier 2005. Sur cette base, l'Andra vérifiera 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. Les études sur les combustibles de la propulsion nucléaire et des réacteurs

de recherche bénéficieront de celles sur les REP, en ce qui concerne les combustibles sous forme oxyde.

3.3. La gestion à long terme des déchets : les centres de stockage dédiés aux déchets radioactifs

3.3.1. La filière des déchets TFA

Optimiser la consommation de la capacité du CSTFA

Comme indiqué au paragraphe 2.3.1. du présent rapport, la consommation annuelle de la capacité volumique du centre de stockage TFA de Morvilliers s'accroît, ce qui justifie d'étudier de nouvelles pistes d'optimisation de la gestion des déchets TFA. Il s'agit d'éviter que la capacité maximale autorisée par l'arrêté préfectoral ne soit atteinte en 20 à 25 ans au lieu des 30 ans prévus. Par ailleurs, conformément aux principes énoncés par la loi du 28 juin 2006, le volume disponible pour le stockage des déchets doit être considéré comme une ressource rare à préserver. Plusieurs propositions développées ci-après permettraient de répondre à cet objectif, déjà évoqué au paragraphe 1.2.2. du présent rapport.

Une solution pour optimiser la capacité de stockage du CSTFA consiste à réduire les flux livrés en essayant autant que possible de valoriser une part des déchets produits. Des initiatives ont été prises en particulier pour les métaux issus du démantèlement ou de la maintenance des installations nucléaires comme le plomb, le cuivre ou les aciers. D'ici fin 2011, les producteurs de déchets métalliques radioactifs de très faible activité et l'Andra devront réaliser un bilan des actions prévues ou engagées en la matière, et évaluer, avec les exploitants nucléaires pouvant utiliser des produits finis à base de matériaux métalliques dans les installations nucléaires dont les stockages, la faisabilité et l'opportunité d'un schéma industriel permettant le recyclage des matériaux métalliques issus du démantèlement des installations dans les années à venir. En vue de la réalisation de ce bilan, un groupe de travail associant les différentes parties concernées sera mis en place.

Le démantèlement des installations générera des bétons en grandes quantités. La démarche sur laquelle repose aujourd'hui leur gestion repose sur la création de stockage à proximité des INB. L'étude du remplacement de sable neuf par des bétons TFA concassés comme matériaux de remplissage des vides dans les alvéoles du centre de stockage TFA pourrait être envisagée. L'Andra, en liaison avec les producteurs de déchets de béton, remettra d'ici la fin 2011 un rapport étudiant l'intérêt et la faisabilité du recyclage de ces matériaux concassés, par exemple en les utilisant en lieu et place de sable neuf pour le remplissage des vides au CSTFA. L'Andra réalisera cette étude en associant le cas échéant les autres utilisateurs potentiels de matériaux concassés recyclés (dans la filière nucléaire) qui en feraient la demande.

Par ailleurs, si la densité des déchets à livrer à l'avenir au CSTFA n'augmente pas par rapport à la densité moyenne des déchets livrés depuis la mise en service du stockage, la capacité de stockage sera consommée plus rapidement que prévu à la conception. Conscients de cette situation, l'Andra et les principaux producteurs de déchets ont convenu de la nécessité d'examiner les possibilités techniques et l'opportunité économique de densification des déchets livrés au centre de Morvilliers pour se rapprocher de l'objectif prévu initialement lors de l'ouverture du centre. Cette démarche peut se traduire par un traitement préalable des déchets avant livraison ou par une utilisation plus soutenue des presses du CSTFA. L'ensemble de ces réflexions fera l'objet d'un rapport conjoint du CEA, d'EDF et d'AREVA, qu'ils remettront avant le 30 juin 2011. Le rapport présentera une évaluation technico-économique des scénarios qu'ils envisagent pour augmenter la densité moyenne des déchets livrés dans l'objectif de stocker au CSTFA des déchets d'une densité moyenne proche de la densité définie avec les producteurs lors de la conception du stockage.

A la suite des études à remettre en 2011 sur le recyclage des matériaux métalliques, le recyclage des matériaux concassés, et la densification des déchets à livrer, un bilan de l'impact de ces efforts sur la durée d'exploitation du CSTFA sera élaboré mi-2012 par l'Andra et présenté au groupe de travail du PNGMDR. Sur la base des cinq années de retour d'expériences du CSTFA, l'Andra proposera pour mi-2011, une optimisation des règles d'exploitation et des spécifications de conditionnement (caissons de ferrailles, ...) pour favoriser une meilleure densité de stockage dans les alvéoles

Améliorer la prise en charge des déchets de grandes dimensions

Le découpage des déchets en vue d'un conditionnement dans les colis standard reçus au CSTFA n'est pas toujours la solution la plus pertinente. Le CSTFA peut prendre en charge des pièces massives allant jusqu'à une trentaine de tonnes moyennant des dispositions particulières pour la manutention. Au-delà de 30 tonnes, il est nécessaire de procéder à des aménagements pour stabiliser le massif de déchets sur lequel sont déposées ces pièces massives.

Sur la base d'un inventaire prévisionnel de déchets de grandes dimensions, l'Andra examinera d'ici fin 2011 l'intérêt de développer une filière industrielle de prise en charge de ces déchets dans des alvéoles de stockage dédiées, dotées de moyens de manutention adaptés.

La pertinence d'un stockage en l'état de ces déchets s'appréciera selon la même méthode que celle développées pour les déchets FMA-VC (voir paragraphe 3.3.2).

Examiner les différences d'approches dans les modalités de gestion entre le CSTFA et les centres d'enfouissement techniques

Parmi les pistes d'amélioration concernant la gestion de la filière des déchets TFA figure la gestion de la toxicité chimique des déchets destinés au CSTFA. En effet, l'étude d'impact soutenant la demande d'autorisation de création du CSTFA repose sur une méthodologie distinguant l'impact potentiel à long terme des toxiques chimiques présents dans les déchets : cette méthodologie conduit à distinguer les toxiques chimiques dont les effets se font sentir au-delà d'une certaine concentration (effets à seuils) comme le plomb ou le mercure des toxiques chimiques à effet stochastique (la probabilité de survenue de l'effet et non la gravité est proportionnelle à la dose d'exposition) comme le cadmium ou l'arsenic. Une telle approche conduit à limiter les quantités de toxiques chimiques dans le stockage pour garantir un niveau de sûreté satisfaisant à long terme en plus de la limitation applicable à chaque lot de déchets. Il en résulte des difficultés pour la prise en charge de certains déchets dangereux, les déchets contenant de l'amiante en particulier.

Or ces déchets ne connaîtraient pas de telles restrictions s'ils n'appartenaient pas à la catégorie des déchets nucléaires. En effet la réglementation applicable aux centres de stockage de déchets ultimes (ou centres d'enfouissement technique) ne prévoit pas une étude de leur sûreté à long terme.

Pour fin 2011, l'Andra remettra une étude comparée des approches de sûreté des centres de stockage de déchets ultimes et du Centre de stockage des déchets très faiblement radioactifs. Le cas échéant l'intérêt d'une harmonisation de ces approches sera examiné. Pour ce qui concerne les déchets radioactifs, des propositions seront faites quant à l'orientation la plus pertinente des déchets vers les différentes filières de stockage existantes ou en cours de développement en fonction de leur toxicité chimique.

3.3.2. La filière des déchets FMA-VC

Le Centre de stockage Manche (CSM)

La gestion des déchets radioactifs comprend non seulement leur conditionnement et leur prise en charge en stockage mais également la surveillance des déchets stockés. En ce sens le retour d'expérience des stockages en phase de surveillance, comme celui du centre de stockage de la

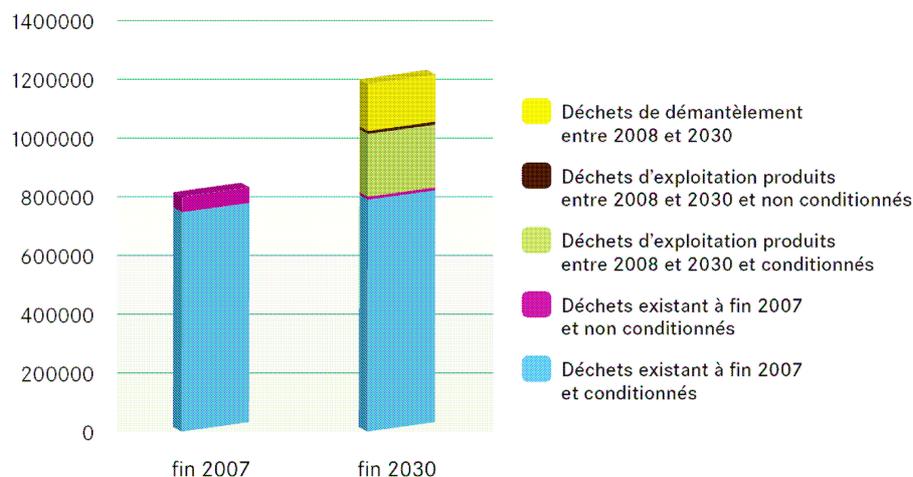
Manche où ont été stockés les déchets produits jusqu'en 1994, apporte des enseignements importants pour les stockages existants ou en projet.

A l'issue de l'instruction par l'ASN fin 2009 du dossier transmis par l'Andra sur la couverture du CSM, un plan d'actions sera élaboré, associé à un échéancier. Celui-ci fera l'objet d'une présentation par l'Andra dans le cadre du PNGMDR. L'instruction du dossier sera également l'occasion de faire un bilan sur l'évolution de la contamination de la nappe et de l'environnement par du tritium et le cas échéant de mettre en place d'autres actions de surveillance et de contrôle. L'Andra rendra également compte périodiquement de l'évolution de la contamination de la nappe par du tritium aux membres du groupe de travail.

En tout état de cause, il est probable que l'emprise de la couverture après travaux entraîne une extension du centre de stockage Manche (CSM). La disponibilité des terrains contigus au CSM, en particulier les terrains dont AREVA est actuellement propriétaire, nécessite de la part de l'Andra une veille sur la disponibilité foncière afin d'être en capacité d'acquérir, le cas échéant en les préemptant, certains terrains.

Le CSFMA

L'édition 2009 de l'Inventaire national des déchets et des matières radioactifs fait apparaître à fin 2007 un volume de déchets de faible et moyenne activité à vie courte déjà produits d'environ 793 000 m³, volume calculé après conditionnement, dont environ 3 000 m³ de déchets tritiés. A fin 2007 le volume déjà en stockage était d'environ 735 000 m³. Le volume de déchets restant à conditionner et à stocker (hors déchets tritiés) correspond environ à 5 années d'exploitation du CSFMA au rythme actuel des prises en charge.



Suivi des volumes de déchets FMA-VC entreposés et en attente de prise en charge en stockage

A la suite de la parution de l'édition 2009 de l'Inventaire national des déchets radioactifs et des matières valorisables, **l'Andra et les producteurs de déchets rendront compte périodiquement de l'évolution du volume de déchets restant en entreposage et du calendrier prévisionnel de leur conditionnement et de leur mise en stockage. Un bilan sera établi en 2012.**

Prise en charge des déchets FMA-VC hors normes dimensionnelles

Dans le prolongement de la prise en charge des couvercles de cuves de réacteurs, d'autres opérations de stockage de déchets de grandes dimensions sont prévues ou à l'étude, par exemple concernant la cuve de réacteur de Chooz A ou des emballages de transport déclassés.

Il apparaît cependant que la pertinence de cette option de stockage par rapport à un conditionnement en colis standard doit être appréciée pour chaque objet en examinant si elle est globalement optimale du point de vue des opérations de démantèlement (complexité des opérations de découpe, dosimétrie du personnel affecté à ces opérations...), du transport (aménagement routiers nécessaires...), mais également du stockage (foisonnement des déchets lors de la découpe et consommation de la capacité du centre, impact sur la sûreté à long terme...).

S'inspirant des approches internationales sur cette question, l'Andra et les producteurs de déchets concernés proposeront, pour mi 2011, un document présentant les critères sur lesquels la pertinence du stockage de déchets FMA-VC de grandes dimensions, après décontamination, peut être évaluée.

Le stockage de déchets contenant du tritium

Le retour d'expérience du CSM incite à examiner avec attention la réception de déchets contenant du tritium au CSFMA. La connaissance des mécanismes de transfert gazeux dans le CSFMA, avec une attention particulière pour le tritium, élément le plus mobile, doit être approfondie. Sur la base de ces éléments, et de la reprise des études de sûreté, **l'ANDRA conduira avec les producteurs d'ici fin 2011 une réflexion sur de nouveaux critères d'acceptation au CSFMA pour les déchets qui en contiennent des quantités significatives.**

3.4. La gestion à long terme des déchets : les autres modes de gestion existants

3.4.1. Les résidus et stériles miniers

Si la gestion in situ des résidus de traitement de minerai et des stériles est acceptable compte tenu du volume et des caractéristiques de ce type de déchets, il convient d'étudier plus précisément la surveillance institutionnelle à long terme et les conséquences en cas d'une utilisation inadaptée, dans le futur, des terrains concernés. En effet les radioéléments naturels présents dans les déchets miniers ont de longues durées de vie et émettent des descendants radioactifs sous forme gazeuse (le radon). AREVA devra poursuivre ses études sur la sûreté à long terme des sites de stockage de résidus miniers et sur l'amélioration de la surveillance à mettre en place sur les autres anciens sites miniers, en s'appuyant notamment sur les conclusions à fin 2009 des réflexions du GEP sur la surveillance institutionnelle à long terme des sites de stockage de résidus miniers.

Par ailleurs, il est rappelé que la gestion de ces anciens sites doit s'opérer conformément au plan d'actions constitué par la circulaire du Ministère du développement durable et de l'ASN du 22 juillet 2009 et par le courrier de la société AREVA du 12 juin 2009 adressé au Ministre d'Etat. Ce plan d'actions s'articule autour des mesures suivantes :

- Contrôler les anciens sites miniers ;
- Améliorer la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et la surveillance ;
- Gérer les stériles : mieux connaître leurs utilisations et réduire les impacts si nécessaire ;
- Renforcer l'information et la concertation.

Les sites de stockage de résidus de traitement de minerais

Le bilan effectué par AREVA dans le cadre de la mise en œuvre du plan national de gestion des matières et déchets radioactifs constitue un jalon déterminant dans la démarche de vérification de sûreté des stockages de résidus de minerais d'uranium. Les documents remis dans le cadre de ce bilan permettent aujourd'hui de juger de l'état des connaissances sur deux points essentiels que sont

la caractérisation des résidus et la tenue des digues ceinturant certains stockages. Il faut noter que la démarche mise en œuvre par AREVA est cohérente avec le cadre méthodologique définie par le BRGM, à la demande du ministère en charge de l'environnement, pour ce type de stockage. Ces documents permettent également 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.

Si les conclusions d'Areva constituent des fondements crédibles pour établir la sûreté à long terme des installations de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium, ils nécessitent toutefois des études et analyses complémentaires afin de mieux les justifier et rendre plus robuste la démonstration de la sûreté à long terme des stockages de résidus. Les principaux compléments attendus de la part d'Areva sont détaillé ci-après.

Pour ce qui concerne l'évolution des caractéristiques physico chimique à long terme des résidus de traitement des minerais, AREVA devra poursuivre les études de caractérisation en exploitant les données obtenues sur les sites de Brugeaud, Bellezane, et Lodève, en les complétant ainsi qu'en réalisant une nouvelle campagne d'échantillonnage sur des sites choisis pour leur pertinence. A partir des résultats obtenus, Areva élaborera pour fin 2012 des modèles géochimiques permettant de simuler les différentes perturbations envisageables au cours de l'évolution du stockage et analysera si ces résultats peuvent être généralisés aux sites de stockage de résidus de traitement des minerais n'ayant pas fait l'objet d'étude de caractérisation sur site.

Pour ce qui concerne l'évaluation de la tenue des digues ceinturant les stockages de résidus de traitement des minerais, AREVA devra, d'ici fin 2011 compléter sa démarche d'évaluation géomécanique en précisant les exigences qu'elle retient pour évaluer la sûreté à long terme de ses stockages, en veillant notamment à la cohérence entre la durée de stabilité des digues retenue et les temps de retour des aléas naturels considérés et en tenant compte des conséquences sur les ouvrages de l'arrêt des actions de surveillance et d'entretien.

Pour ce qui concerne l'évaluation de l'impact radiologique à long terme des stockages de résidus de traitement des minerais d'uranium, AREVA devra exploiter de manière approfondie les résultats des évaluations d'impact dosimétrique réalisées en 2008, d'une part pour vérifier leur pertinence au regard des données de mesure dont elle dispose sur chacun des sites, d'autre part pour identifier de manière systématique les possibilités de réduction de l'impact des sites de stockage de résidus de traitement des minerais actuel et à long terme sur les populations. **A ce titre, Areva devra étudier d'ici fin 2011 le renforcement de la qualité des couvertures, qui, à la lumière des résultats des évaluations d'impact à long terme, apparaît sur plusieurs sites comme une solution potentiellement efficace, afin d'en évaluer la faisabilité et la pertinence sur l'ensemble des sites de stockage de résidus** de traitement des minerais miniers. AREVA devra également améliorer ses connaissances relatives au transport atmosphérique du radon des sites de stockage vers l'environnement avoisinant et la pertinence de ses calculs de modélisation des transferts du radon depuis un stockage vers une habitation supposée construite au dessus dans le cas d'un scénario d'évolution dégradée.

De manière générale, les études engagés 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. Ces travaux de recherche sur le long terme pourront donc s'échelonner jusqu'en 2020, des points d'étapes étant réalisés tous les 3 ans à l'occasion des mises à jour du PNGMDR.

Les sites d'extraction minière

Dans le cadre du plan d'actions mines mis en place en 2009 par le Ministère chargé du développement durable et l'ASN, et afin d'améliorer la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et leur surveillance, plusieurs actions sont prévues. Areva devra ainsi, sous trois ans, réévaluer la surveillance environnementale de tous les sites miniers (de leurs annexes, des installations de traitement et des stockages de résidus et de stériles...) pour, au besoin, définir une surveillance encore plus adaptée. 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 d'analyses des risques résiduels dans le cadre du plan d'action mines devront conduire si

nécessaire au réaménagement de sites par Areva ou s'accompagner, par exemple, de restrictions d'usage (mentionnées dans un plan local d'urbanisme) pour ces terrains.

Il apparaît important d'insister sur la nécessité 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 CNE souligne 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. Néanmoins, ce traitement pose le problème de l'introduction de substances chimiques étrangères dans l'environnement aquatique (baryum, aluminium). **Une évaluation des pratiques actuelles de traitement des eaux devra être réalisée par AREVA pour fin 2011.** Dans ce cadre, Areva devra prendre en compte l'ensemble des risques chimiques et radiologiques, des pratiques actuelles de traitement des eaux des sites miniers et des rejets liquides associés (aluminium, baryum, radium, uranium). Areva devra également préciser un échéancier de ses recherches sur les procédés alternatifs. De plus, le marquage des sédiments étant lié aux quantités d'uranium et de radium émises dans le réseau hydrographique après traitement, Areva devra préciser la relation entre les flux rejetés et l'accumulation de sédiments marqués dans les rivières et surtout les lacs, notamment au travers d'une étude 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.

Les stériles miniers

Les stériles des anciennes mines d'uranium présentent des éléments radioactifs avec des teneurs variables et 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 pas compatible avec la présence de tels stériles (par exemple en cas de constructions 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 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.

Conformément à la circulaire du 22 juillet 2009 et à la lettre adressée le 12 juillet 2009 par la Présidente d'AREVA au ministre d'Etat, **un tel recensement va être réalisé par AREVA (pour fin 2011), et les situations d'incompatibilités devront être identifiées et gérées.**

A la demande de l'ASN, AREVA a adapté la méthodologie d'évaluation de l'impact dosimétrique à long terme des stockages de résidus au cas de la réutilisation des stériles miniers. Cette étude mérite d'être complétée d'ici fin 2011 afin que les critères de décision retenus par Areva pour les différents scénarios soient suffisamment enveloppes.

Areva pourra également, d'ici fin 2011, appliquer sa méthodologie d'évaluation de l'impact à long terme au cas des verses à stérile. A cet effet il pourra être nécessaire de revoir les hypothèses de modélisation des transferts du radon depuis la verse contenant des stériles de sélectivité vers l'habitation supposée construite au dessus pour ce type de scénario.

Le rapport de juin 2009 de la CNE précise que les stériles utilisés dans les couvertures ou les verses, n'évoluent que peu chimiquement et que des campagnes de caractérisation et de mesure des eaux qui lixivient des stériles sont en cours. **Areva devra corrélérer ses résultats aux modèles géochimiques qu'elle aura développés pour les stockages de résidus fin 2012.**

3.4.2. Les déchets à radioactivité naturelle renforcée

L'analyse de l'inventaire des caractéristiques et de l'origine des déchets à radioactivité naturelle renforcée ainsi que des solutions de gestion mises en œuvre pour la gestion de ces déchets a conduit l'ASN à émettre plusieurs recommandations dans le bilan qu'elle a remis aux Ministres visant à :

- compléter l'inventaire des déchets à radioactivité naturelle renforcée par la mise à jour de l'arrêté du 25 mai 2005 et de la base de données BASIAS pour les activités industrielles passées ;

- examiner les modalités permettant de renforcer la traçabilité des déchets à radioactivité naturelle renforcée ;
- s'assurer de l'absence d'impact environnemental des stockages historiques de déchets à radioactivité naturelle renforcée et le cas échéant mettre en œuvre des programmes de surveillance environnementale adaptés ;
- proposer des actions permettant de consolider les filières actuelles d'élimination des déchets à radioactivité naturelle renforcée.

Les actions suivantes pourront être engagées prioritairement :

- **Les services du ministère en charge de l'écologie, réaliseront en lien avec les industriels concernés, les gestionnaires des centres de stockage et l'Andra, pour fin 2011 un bilan de l'application de la circulaire du 25 juillet 2006 relative à l'acceptation de déchets à radioactivité naturelle renforcée dans les centres de stockage de déchets et proposeront le cas échéant les actions complémentaires à mettre en œuvre pour sécuriser et optimiser le stockage des déchets à radioactivité naturelle renforcée ;**
- **Les industriels concernés réaliseront pour fin 2011 un inventaire des filières de valorisation des résidus contenant de la radioactivité naturelle renforcée ;**
- **L'Andra étudiera, d'ici fin 2012, dans le cadre de ses projets d'entreposage de déchets, la mise à disposition de solutions d'entreposage pour les industriels produisant ponctuellement des déchets à radioactivité naturelle renforcée destinés à être stockés dans le futur centre de stockage de déchets FAVL.**

L'application de 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 devra être poursuivie afin de s'assurer de la bonne adéquation des dispositions de surveillance de l'environnement retenues autour des anciens stockages de déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée.

Par ailleurs, des dispositions visant à sécuriser le financement de la gestion des déchets à radioactivité naturelle renforcée présentant des niveaux de radioactivité justifiant leur stockage dans le futur centre de stockage de déchets FAVL et des décharges internes pouvant justifier la mise en place de dispositions de surveillance à long terme devront être mises en place.

3.4.3. Les déchets contenant une activité radiologique stockés dans des centres de stockage conventionnels

Les décharges ayant accueilli des déchets contenant une activité radiologique provenant de l'industrie (nucléaire ou non) sont répertoriées dans l'inventaire 2009 de l'ANDRA, sans qu'il soit réellement possible de garantir l'exhaustivité d'un tel inventaire. Toutefois, compte tenu de la nature de ces stockages et des déchets concernés, les risques en matière de radioprotection apparaissent pour la plupart assez limités. Cependant, il pourrait s'avérer utile de vérifier, en particulier à l'occasion de compléments apportés à l'inventaire des sites, l'absence de marquage radiologique de l'environnement. Il apparaît en particulier intéressant de veiller à l'harmonisation de la surveillance radiologique des différents centres de stockage dans lesquels des déchets radioactifs de faible activité ont été stockés par le passé et le cas échéant de mettre en œuvre des mesures de surveillance pour les sites qui en sont dépourvus. Le niveau de surveillance exigé doit être proportionné aux activités et aux volumes stockés. La mémoire de la présence de ces déchets doit être conservée. Le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, dans son avis²⁵ 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, recommande de « favoriser la connaissance des marquages » et recommande 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 ».

²⁵ L'avis du HCTSIN est disponible à l'adresse suivante : www.hctsin.fr

La circulaire du 18 juin 2009 du ministère en charge de l'écologie 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) la surveillance environnementale est adaptée et prendre le cas échéant des mesures appropriées (notamment par des campagnes ciblées de mesures).

La vérification de l'exhaustivité de l'inventaire ainsi que l'étude de la nécessité de mettre en œuvre des mesures de surveillance radiologique sur les sites ayant accueilli des déchets de faible activité par le passé feront l'objet d'une action administrative d'ici la fin 2011 ; les mesures radiologiques à réaliser tiendront compte des voies de transfert possibles des différents radioéléments présents dans les stockages vers l'environnement.

L'usine Comurhex de Pierrelatte est à l'origine de sous-produits liquides, qui sont traités pour récupérer l'uranium et le fluor. Les effluents sont ainsi traités à la chaux (CaO₂), le fluor précipite sous la forme de fluorure (CaF₂), composé chimiquement stable existant par ailleurs à l'état naturel. Ces fluorures présentent des niveaux d'activité très faibles (de l'ordre de 4Bq/g). Ces fluorures sont stockées au centre de stockage de déchets dangereux de Bellegarde. Des essais de stabilisation des fluorures issues des structures de l'installation Comurhex mettant en œuvre de l'uranium de recyclage ont été réalisés en vue d'un éventuel stockage à l'Andra. **Une solution pour la filière de gestion de ces déchets, satisfaisante aux plans technique et réglementaire, devra être mise en œuvre d'ici 2012.**

3.5. La gestion à long terme des déchets : les nouvelles filières

Certaines actions de recherche et développement devront être menées de manière transverse aux différents projets de stockage et d'entreposage, notamment dans le domaine de la modélisation et de la simulation (par exemple, finaliser le développement de la plate-forme "Alliances", permettant l'analyse et la simulation de phénomènes à prendre en compte dans les études sur l'entreposage et le stockage de déchets radioactifs). En outre, afin d'améliorer la connaissance et travailler en amont sur le conditionnement des déchets, des programmes de recherches sur les types de déchets suivants seront poursuivis (cf. 2.5) :

- les déchets conditionnés via la gestion industrielle du combustible usé telle qu'elle est pratiquée à La Hague ;
- les déchets dits "historiques", entreposés à Marcoule et à la Hague lors du traitement industriel du combustible usé avant le démarrage de l'usine UP3 (1990) ou ceux des activités de recherche de la même période ;
- les déchets radifères ;
- les déchets graphite ;
- les déchets provenant des opérations de nettoyage consécutives à la mise à l'arrêt et ceux provenant des différentes phases de déconstruction des installations ;
- les combustibles de la propulsion nucléaire²⁶ et des réacteurs de recherches.

3.5.1. Les filières à mettre en place pour les déchets contenant du tritium

L'entreposage des déchets tritiés sans filière concerne l'ensemble des déchets tritiés solides déjà produits et à produire jusqu'à l'horizon 2060. L'inventaire des déchets concernés, développé dans le paragraphe 2.5.1 du présent rapport, comprend six familles de déchets pour lesquels l'objectif visé est de permettre un entreposage sûr pendant une période d'une cinquantaine d'années préalablement à leur stockage dans des centres de l'Andra. La création de nouveaux modules d'entreposages sur une durée de cinquante ans apporte une solution concrète assurant la sûreté à court et moyen terme de la gestion des déchets tritiés dans l'attente de leur prise en charge dans des exutoires adaptés. Les

²⁶ L'option du traitement de ces combustibles à l'usine de La Hague étant toujours à l'étude, ils sont considérés et déclarés comme étant des matières valorisables, mais figurent dans les programmes de R&D de gestion à long terme des déchets HA-MAVL à titre de prévention.

nouveaux entreposages que le CEA devra construire, pour l'entreposage des déchets qui lui appartiennent, respecteront les principes définis dans son dossier d'orientation. **Le CEA transmettra fin 2011 un point d'avancement de son programme de création d'entreposages.**

A l'issue d'une première période d'entreposage, les déchets pourraient soit être dirigés vers un futur exutoire de l'Andra, soit rester dans l'entrepôt initial pour prolonger la décroissance, soit être dirigés dans un autre entrepôt qui correspondra aux exigences de sûreté du moment. A cet horizon, des centres de stockage devront être dimensionnés pour prendre en charge ces déchets après décroissance du tritium. Toutefois, à titre de précaution, il convient que le CEA anticipe sur les besoins en capacité d'entreposage de déchets tritiés, en examinant les solutions de repli possible si les stockages devant les recevoir après les cinquante ans d'entreposage ne pouvaient les prendre en charge. **A cet effet, le CEA devra, pour fin 2011, examiner l'incidence de l'augmentation de la durée d'entreposage sur la conception des installations.**

Concernant les déchets irradiants qui seront produits lors de l'exploitation et du démantèlement de l'installation ITER, il conviendra, le moment venu, de préciser les options retenues pour la gestion de ces déchets ainsi que les échéanciers associés pour les mettre en œuvre. **ITER Organization et les autorités françaises informeront périodiquement le groupe de travail chargé d'élaborer le PNGMDR des solutions de gestion des déchets tritiés qu'il est prévu de retenir.**

Le dossier d'orientation du CEA ne présente pas de dispositions en matière de reprise des déchets ; les critères de conception liés à la maintenance de l'entreposage (interventions sur les colis et équipements, maintien en état des barrières de confinement...) ne sont pas précisés. **Il apparaît important que les grands principes concernant la reprise des colis, dans des conditions de sûreté satisfaisantes, soient connus le plus tôt possible, la possibilité de reprendre à tout moment, dans des conditions de sûreté satisfaisantes, les colis de déchets entreposés étant l'un des fondements de la conception des installations d'entreposage. Le CEA devra pour fin 2011 compléter son dossier dans ce domaine.**

Eu égard à la difficulté de confiner le tritium, les nouveaux entreposages vont contribuer à accroître les rejets de tritium de façon significative pour certaines installations. Aussi, le CEA examinera la faisabilité de réduire autant que possible les rejets de tritium pour les entreposages dont les rejets sont les plus importants.

Les modalités de gestion des déchets tritiés provenant des producteurs du nucléaire diffus sont variables et parfois inappropriées. Il existe par ailleurs de larges incertitudes sur la quantité de déchets susceptibles d'être produits dans le secteur du nucléaire diffus, aux activités très variées. Enfin, pour les déchets tritiés liquides et gazeux actuellement sans filière d'élimination et qui ne sont pas couverts dans le champ de l'étude remise par le CEA, la mise en place de traitements spécifiques pour leur élimination est à prévoir à courte échéance.

En conséquence :

- **L'Andra, en lien avec le CEA proposera, d'ici fin 2010, les modalités de prise en charge des déchets tritiés du nucléaire diffus dont l'inventaire est d'ores et déjà connu dans des entreposages de décroissance.**
- **L'Andra, en lien avec les détenteurs concernés devra établir, pour fin 2011, un inventaire exhaustif des déchets tritiés du nucléaire diffus, en prenant notamment en compte les objets et sources scellées radioactifs présents dans les équipements civils (aéronautique, chemins de fer, ...) et de la défense et identifier, en lien avec le CEA, si l'inventaire consolidé est de nature à remettre en cause les principes de prise en charge des déchets du nucléaire diffus dans des entreposages de décroissance définis fin 2010 (voir ci-dessus).**
- **L'ANDRA devra remettre pour fin 2011 une étude précisant les traitements spécifiques à mettre en place pour l'élimination des déchets tritiés du nucléaire diffus sous forme liquide et sous forme gazeuse actuellement sans filière (y compris les sources scellées usagées gazeuses au tritium).**

3.5.2. Les filières à mettre en place pour les sources scellées usagées

L'inventaire des sources scellées usagées réalisé par l'Andra est pertinent et les critères d'acceptation retenus par l'Andra permettent d'orienter les sources considérées vers les différentes filières de stockage possibles, ce qui peut être considéré comme une avancée notable par rapport au précédent PNGMDR.

En premier lieu, il faut souligner que les sources scellées usagées sont potentiellement valorisables. Le guide de conduite de l'AIEA indique notamment que « chaque Etat devrait encourager le réemploi ou le recyclage des sources radioactives, lorsque cela est possible et conforme aux principes de sûreté et de sécurité ». Dans la suite du texte, et compte tenu de l'objet du PNGMDR, on s'intéressera essentiellement aux sources scellées usagées après que décision de les gérer en tant que déchets a été prise. En règle générale, cette décision est à prendre par un fournisseur de sources après leur reprise auprès des utilisateurs, ou par tout autre gestionnaire autorisé d'une filière de reprise de sources scellées usagées (et notamment l'ANDRA).

Cet inventaire des sources à stocker devra être périodiquement réévalué mais il est peu probable que les incertitudes qui pèsent sur l'inventaire réalisé remettent en cause la capacité d'accueil des sources scellées usagées dans les différentes filières de stockage envisagées.

L'inventaire détaillé des sources scellées usagées établi par l'ANDRA devra être systématiquement mis à jour avec les sources scellées françaises lorsqu'elles sont déclarées usagées à l'IRSN qui a la charge de l'inventaire des sources scellées. Les modalités de mise en œuvre de cette disposition seront étudiées par l'Andra et l'IRSN d'ici fin 2011.

Par ailleurs, le guide de conduite de l'AIEA indique que « chaque Etat devrait autoriser le retour sur son territoire des sources radioactives retirées du service si, en droit interne, il a accepté qu'elles soient réexpédiées à un fabricant autorisé ». En pratique, de nombreux pays disposent de filières nationales de gestion, mais certains détenteurs de sources fournies par des fabricants français de sources ou d'équipements demandent le rapatriement de leurs sources ; les flux devraient donc être faibles, mais peuvent être tardifs du fait que la contrainte de limitation d'utilisation d'une source à dix ans est spécifique à la réglementation française et ne s'applique donc pas aux sources utilisées à l'étranger.

La gestion des sources scellées usagées doit tenir compte en particulier de leur activité et de leur volume et être telle qu'elle préserve, pour chaque type de stockage, la capacité radiologique qui permet l'élimination des déchets pour lesquels ces stockages sont plus spécifiquement conçus. **L'étude de l'Andra ne présente que partiellement l'estimation globale des activités et volumes des sources scellées qui seraient orientées vers chacun des stockages envisagés. L'Andra devra, d'ici fin 2011 compléter son inventaire sur ces valeurs.** Les détenteurs de sources fourniront à l'Andra les informations nécessaires d'ici fin 2010.

S'agissant de l'orientation des sources scellées usagées dans les différentes filières de stockage, les critères retenus à cet effet (état physique de la source, période du radionucléide, activité de la source et sa dimension, activité du colis de stockage et puissance thermique du colis de stockage) permettent une vision globale des contraintes propres aux stockages pour la gestion des diverses sources usagées que leur détenteur destine à une mise aux déchets. Ces critères de gestion peuvent servir de base pour l'élaboration par les détenteurs de stocks de sources usagées reprises et destinées à être gérées en déchets, d'une stratégie de gestion des différents lots de sources scellées usagées en tenant compte des filières d'élimination possibles. Cela permettra de disposer d'une vision globale sur la gestion des sources usagées, de leur reprise ou leur collecte jusqu'à leur stockage. **L'étude présentée par l'Andra fixe donc un premier schéma directeur d'orientation et d'élimination des sources scellées usagées, qui devra être complété et amendé en tenant compte des contraintes des détenteurs des sources usagées reprises et destinées à être stockées.**

Concernant la méthode d'identification des filières, le principe de destiner au centre de stockage accueillant les déchets très faiblement radioactifs (CSTFA de Morvilliers) des sources de très faible activité et de réserver la filière du stockage géologique profond ou du stockage FAVL aux sources à

vie longue et d'activité respectivement élevée (stockage géologique) ou faible (FAVL), compte tenu des critères retenus par l'Andra paraît acceptable.

Par ailleurs, le stockage des sources scellées usagées dans des installations permettant de les protéger des intrusions humaines banales pendant le temps nécessaire à ce qu'elles ne présentent plus de risque radiologique significatif doit être retenu comme principe directeur pour leur élimination. Ainsi, même si des marges ont été prises par l'Andra pour tenir compte des incertitudes qui affectent la détermination des LAS, les centres de surface ou de subsurface à une profondeur de l'ordre de 15 mètres restent peu robustes pour les sources scellées face aux risques d'intrusion à long terme et ne devraient pas accueillir des sources dont l'activité résiduelle reste significative après quelques centaines d'années sauf si cette solution procure un bénéfice certain pour la sûreté de leur gestion globale. En tout état de cause, compte-tenu du faible volume que représentent les sources à stocker, le stockage de l'ensemble des sources scellées (hormis celles de très faible activité ou de période courte: notamment, les sources de période inférieure ou égale à celle du Cobalt 60 ne nécessitant pas la définition d'une LAS) dans un centre HA-MA/VL ou FAVL devrait être autant que possible privilégié. Dans l'attente de l'ouverture de ces filières, un entreposage de ces sources dans des conditions sûres pourrait être réalisé, notamment dans les installations nouvelles destinées à prendre le relai des entreposages anciens.

La réflexion de l'ANDRA et des détenteurs de sources devra être poursuivie afin d'optimiser le schéma global de gestion des sources scellées usagées et de mieux intégrer l'inventaire national des sources scellées à éliminer, ainsi que la sûreté à court et moyen terme tout au long des étapes de gestion de ces sources : disponibilité des entreposages et des stockages existants ou à créer, filières alternatives (valorisation, recyclage...). **Les axes de travail suivants sont retenus :**

1. **Les détenteurs, en concertation avec l'Andra, approfondiront pour fin 2011 les points suivants :**
 - **les procédés de traitement des sources scellées liquides et gazeuses en vue de leur élimination,**
 - **l'étude de procédés de conditionnements adaptés aux filières de stockage.**
2. **Les détenteurs de sources scellées usagées proposeront pour fin 2011 un « lotissement » des sources scellées usagées qu'ils détiennent ou prévoient de recevoir et destinées à être gérées en tant que déchet. Pour définir chaque lot, les détenteurs prendront en compte la (ou les) filière(s) d'élimination et de stockage envisagée(s) en lien avec l'Andra. Si nécessaire, un programme de caractérisation complémentaire de ces sources en vue de leur orientation vers une filière d'élimination et de stockage sera défini.**
3. **L'Andra pilotera un groupe de travail réunissant l'ASN,, le DSND, l'Andra, le CEA, l'IRSN et les principaux détenteurs ou fournisseurs de sources scellées en vue de proposer pour 2012 des recommandations sur l'optimisation de la planification des reprises et des collectes des sources scellées usagées ainsi que leur compatibilité avec la disponibilité temporelle des filières de conditionnement, d'entreposage et de stockage.**

Le système de garanties financières conçu pour pallier le problème des fournisseurs de sources qui seraient défaillants au moment de leur reprise doit par ailleurs être mis à jour et complété si nécessaire. Jusqu'ici, cette garantie était apportée par un système de mutualisation porté par une association regroupant une part importante des fournisseurs de sources (association Ressources), ou par un système de convention avec l'Andra (dépôt d'une caution auprès de l'Andra). L'impact des orientations retenues par le PNGMDR sur les garanties en cours auprès de l'Andra demandera à être examiné pour les fournisseurs qui ne souhaitent ou ne peuvent pas adhérer à l'association Ressources. **Un groupe de travail sera mis en place associant Ressources, l'Andra, des utilisateurs et des fournisseurs de sources ainsi que l'ASN afin d'élaborer une proposition en ce sens d'ici fin 2011.**

Concernant les sources scellées usagées liquides et gazeuses qui ne peuvent pas être stockées en l'état, des procédés de traitement (sources gazeuses au ⁸⁵Kr dans les parasurtenseurs) ou un

entreposage (cas des sources gazeuses au tritium) sont esquissés par l'Andra. Il convient maintenant aux détenteurs de telles sources de développer des procédés de traitement adaptés avant leur stockage.

En complément aux actions générales ci-dessus, des actions spécifiques à certains types de sources sont à mener.

Sources au tritium

Les sources scellées usagées au tritium solide ont été et seront prises en compte dans l'étude de l'entreposage des déchets tritiés sans filière (voir la partie 2.5). A l'issue de cet entreposage, elles pourront être stockées dans la filière FMA-VC. Les sources gazeuses au tritium (ampoules luminescentes...) pourront être entreposées jusqu'à ce que leur activité devienne compatible avec le seuil d'acceptation dans la filière FMA-VC. Pour le stockage, ces sources usagées devront être bloquées par un liant hydraulique. Réaliser ce blocage avant l'entreposage est susceptible de diminuer le dégazage en phase d'entreposage. Dans le prolongement de l'étude de l'entreposage des déchets tritiés sans filière, le CEA évaluera et comparera les possibilités de blocage avant et après entreposage au plan de l'impact environnemental et technico-économique.

Autres sources gazeuses ou liquides

Les autres sources usagées liquides (^{60}Co , ^{226}Ra , ^{137}Cs ...) et gazeuses (^{85}Kr ...) ne sont pas destinées en l'état à une filière de stockage. Les sources scellées liquides pourraient être ouvertes pour traiter leur contenu comme des effluents. De même, les sources gazeuses pourraient aussi être ouvertes, soit pour une valorisation de la matière (cas de ^{85}Kr), soit pour une élimination dans le cadre de rejets contrôlés (ou pour une mise en solution). Le traitement des sources liquides et gazeuses usagées devra être envisagé par leurs détenteurs dans des installations à identifier, disposant de moyens adaptés de manipulation (hotte ventilée, boîte à gants) et de traitement des effluents et rejets.

Sources au cobalt 60

Le stockage de sources au cobalt 60 au CSFMA pose la question du type de conteneur à utiliser. Une option envisagée par le CEA (pour les sources CEA et CIS bio international) est un stockage en emballage de transport blindé, présentant l'avantage de simplifier la radioprotection de l'ensemble des opérations. Néanmoins cette option amènerait à stocker au CSFMA des toxiques chimiques. Aussi le CEA étudiera des options de gestion complémentaires qui pourraient se substituer à terme à la filière actuelle, en tenant compte du calendrier de reprise et conditionnement de ces sources ; en outre le CEA et l'ANDRA se concerteront pour optimiser l'efficacité de la filière actuelle.

Sources au chlorure de césium

Dans les sources les plus actives, le césium 137 se trouve sous forme de chlorure pulvérulent et soluble. Le CEA examinera en priorité les possibilités de valorisation du césium.

Sources de paratonnerres

Le nombre important de paratonnerres radioactifs restant à collecter suggère d'entreprendre une recherche de pistes d'optimisation des étapes de transport, démontage et conditionnement. L'Andra devra ainsi engager une étude de procédé pour mieux séparer les sources des têtes de paratonnerres et des déchets de procédé de collecte, densifier les fûts et optimiser les volumes et conditions d'entreposage et de stockage. Idéalement un tel procédé est à mettre en œuvre sur un site de regroupement et de traitement. Il s'appliquerait aux paratonnerres au radium 226, mixtes et à l'américium 241. **Le CEA examinera avec l'Andra la faisabilité et l'intérêt de l'adoption d'une filière de conditionnement de paratonnerres au radium et d'une filière de conditionnement des sources de détecteurs d'incendie (sans étape préalable de compactage).**

3.5.3. Le projet FA-VL : graphites, radifères, autres

Nota : Les échéances concernant le projet FAVL seront précisées ultérieurement.

Connaissance et conditionnement des déchets FAVL

Le travail d'inventaire quantitatif et de caractérisation de l'ensemble des déchets destinés au stockage à faible profondeur sera approfondi. En particulier, **l'Andra proposera au Gouvernement un modèle d'inventaire de dimensionnement du centre de stockage.**

En outre, les études sur la connaissance, le comportement et le traitement des déchets FAVL devront être poursuivies.

Pour les déchets radifères, il s'agira d'approfondir l'analyse de la spéciation des radionucléides ainsi que des effets des complexants et des sels de déchets sur le transfert des radionucléides ; il conviendra également de maîtriser les conditions d'oxydoréduction au sein du stockage et de son environnement géologique (SCR en particulier), et de déterminer les paramètres pertinents afin de minimiser l'impact d'éventuels toxiques chimiques. Par ailleurs, l'Andra et les producteurs de déchets concernés (notamment Rhodia) examineront l'intérêt et les modalités d'une éventuelle séparation des nitrates.

Dans le cas des déchets de graphite, les études porteront en particulier sur le chlore 36 et le carbone 14, afin de disposer d'un premier modèle de relâchement des radionucléides par le graphite pour les calculs préparatoires au DAC, et afin de préciser l'inventaire en chlore 36. En outre, EDF et CEA remettront une synthèse mise à jour concernant la R&D réalisée en France et à l'étranger sur les procédés de traitement des déchets de graphite, et portant en particulier sur les possibilités de traitement thermique, les caractéristiques des déchets et effluents induits et les traitements potentiels à leur appliquer, ainsi que leurs perspectives industrielles.

Les études devront également être poursuivies d'ici fin 2010 concernant la possibilité de prendre en charge certains déchets bitumés dans le stockage pour les déchets de faible activité à vie longue : analyse phénoménologique, simulations de relâchement et de migration des nucléides, et étude d'adaptation de l'architecture du stockage et des moyens d'exploitation.

Il est en outre important que les spécifications de conditionnement des déchets FAVL soient connues dès que possible, afin que les producteurs de déchets puissent mettre en place les processus de conditionnement correspondants. Ces spécifications dépendront toutefois des résultats des études à mener à l'avenir par l'Andra, en fonction des concepts et sites finalement retenus ; il n'est donc pas possible de définir dès à présent l'ensemble des paramètres de conception des colis de déchets. En revanche, il serait souhaitable de fixer dès que possible les paramètres très peu susceptibles d'évolution. En conséquence, **l'Andra et les producteurs de déchets FAVL organiseront un groupe de travail afin de déterminer un échéancier pour la définition, au cours des trois années précédant la demande d'autorisation de création du stockage, des principaux paramètres en vue du choix de conditionnement des déchets FAVL.**

Sélection d'un site de stockage : études géologiques et processus de concertation

Le Gouvernement et l'Andra examinent actuellement les adaptations à apporter au processus de consultation et au calendrier du projet. **La recherche de site sera poursuivie, avec pour objectif l'exemplarité aussi bien du point de vue de la sûreté nucléaire que de la concertation et de la transparence, et en respectant le principe du volontariat des territoires.**

Une fois les sites présélectionnés, l'Andra effectuera des investigations géologiques et environnementales approfondies et poursuivra sa démarche d'information et de dialogue sur le projet. Un comité de suivi de la démarche sera mis en place au niveau local, à des fins de transparence et de concertation. La coordination des propositions relatives à l'accompagnement économique et à l'élaboration des projets de territoire sera assurée par le préfet de département.

Les moyens de reconnaissance mis en œuvre depuis la surface permettront d'accéder aux données spécifiques aux sites (topographie, coupe géologique, caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques des formations...) ainsi qu'aux échantillons nécessaires pour la caractérisation des propriétés physico-chimiques.

La connaissance du contexte géologique doit permettre de déterminer le volume disponible de la formation hôte potentielle ainsi que certaines de ses propriétés, telles que sa capacité à retarder la migration des radionucléides ou son aptitude à y créer les infrastructures du stockage. On s'attachera également à caractériser les encaissements de la couche hôte dans l'optique de construire un schéma hydrogéologique et contribuer à la construction d'un modèle géologique d'ensemble.

Sur ces bases, les études sur l'évolution naturelle du milieu géologique doivent répondre à trois objectifs importants pour les évaluations de sûreté :

- analyser le risque d'une érosion du stockage (SCR, en particulier) ;
- estimer les modifications de l'encaissement sus-jacent, telles que la création ou le développement de karsts ;
- caractériser les composantes physiques des biosphères types possibles dans le futur.

Il est d'ores et déjà prévu qu'un débat public soit organisé préalablement au choix du site. A cette fin, l'Andra réalisera un dossier support au débat public, comprenant notamment une proposition de choix de site.

3.5.4. Les recherches pour les déchets HA-MAVL : séparation / transmutation, stockage géologique réversible, entreposage

Les recherches dans le domaine de la séparation-transmutation

Pour mémoire, le PNGMDR précédent avait fixé un certain nombre de jalons pour les recherches sur la séparation et la transmutation, qui restent valables.

Ainsi, **le CEA devra remettre avant fin 2012 un dossier afin d'établir un bilan des recherches. Ce dossier comprendra les avancées techniques dans les domaines des procédés de traitement et de séparation, de fabrication de combustibles avec actinides mineurs et des expériences d'irradiation menées sur ces combustibles.** Il s'appuiera sur des procédés complets allant de l'étape de séparation jusqu'à la transmutation en réacteur, en passant par l'étape de fabrication du combustible.

Le dossier comprendra également les résultats de scénarios techniques et économiques tenant compte des possibilités d'optimisation entre les procédés de transmutation des déchets HAVL, leur entreposage et leur stockage en formation géologique. Il permettra d'évaluer (a) l'apport du recyclage des actinides mineurs et de leur transmutation par rapport à leur stockage au sein des déchets vitrifiés ; (b) les différents modes de recyclage envisageables (hétérogène, homogène) ; et (c) les filières associées possibles (réacteurs critiques électrogènes de nouvelle génération, réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateurs).

Ce dossier devra permettre de procéder à une évaluation des perspectives industrielles de ces filières et de faire les choix relatifs au prototype de réacteurs de nouvelle génération, dont la mise en exploitation est prévue fin 2020. Il prendra en compte les orientations retenues à l'étranger, tant en termes de techniques que d'évolution des parcs électriques et de stratégie industrielle des principaux acteurs.

La partie du dossier consacrée au traitement et à la fabrication de combustible avec actinides mineurs sera coordonnée avec les travaux sur les réacteurs de nouvelle génération et les réacteurs pilotés par accélérateurs.

Le CEA s'appuiera sur l'Andra pour évaluer l'impact de la composition des déchets sur le dimensionnement et le coût du stockage. Il participera à des programmes de coopération internationale et notamment à des programmes de recherche européens.

Les études technico-économiques permettront de disposer dès 2012 d'éléments d'évaluation des coûts de mise en œuvre des diverses options de transmutation étudiées à l'échelle du parc électronucléaire. Elles permettront également d'évaluer les conséquences de la mise en œuvre de ces options sur le déploiement des réacteurs de 4^{ème} génération (notamment en termes de ressources nécessaires), les capacités des installations du cycle, les déchets produits et leur emprise sur le stockage géologique, ainsi que les impacts économiques associés. Les apports et les détriments de ces diverses options seront présentés, ainsi que divers scénarios possibles de déploiement. Ces études sont menées par le CEA en liaison avec les industriels pour asseoir notamment le choix des scénarios étudiés, les paramètres d'optimisation et les critères d'évaluation.

Afin d'établir le dossier évoqué ci-dessus, les recherches dans le domaine de la séparation seront poursuivies essentiellement dans trois domaines :

- la récupération, par une adaptation et des compléments au procédé PUREX (ou COEX), du neptunium, de l'américium et du curium présents dans le combustible utilisé [séparation poussée – procédés DIAMEX-SANEX] ;
- la récupération, en aval de COEX ou de PUREX, du seul américium (le principal contributeur à la radiotoxicité et à la thermique à long terme des verres actuels) ;
- la récupération en bloc de tous les transuraniens (plutonium et actinides mineurs) [séparation groupée – procédé GANEX].

Un effort particulier sera fait sur le second point (séparation de l'américium seul), en accord avec les recommandations de la CNE.

En outre, dans l'optique d'une transposition industrielle, les études de R&D seront poursuivies afin de simplifier les schémas (notamment en diminuant le nombre d'étapes élémentaires successives, et en cherchant à opérer à des concentrations plus élevées) et d'acquiescer les consolidations nécessaires à leur mise en œuvre (mieux approcher, dans leurs diverses dimensions, les conditions de mise en œuvre industrielle de ces procédés).

Les études sur la séparation seront complétées par des recherches à vocation plus prospective sur les procédés pyrochimiques, qui présentent des atouts pour le traitement de combustibles difficilement solubles en phase aqueuse, et qui permettraient de traiter des combustibles très radioactifs dès leur déchargement de réacteur (par exemple, les combustibles destinés aux ADS). Il faudra ainsi s'efforcer d'être en mesure de mener, à l'échelle du laboratoire, une première expérimentation sur objet irradié à l'horizon 2012.

Après l'étape de séparation des éléments à transmuter, des étapes de conversion des actinides sont nécessaires avant la fabrication du combustible pour obtenir un composé solide à partir des solutions nitriques d'actinides issues des procédés de séparation. Des programmes de R&D seront poursuivis d'ici 2012 pour évaluer les différentes voies de conversion des solutions chargées en actinides mineurs afin d'identifier les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles. En particulier, le développement de la co-conversion U-Pu jusqu'à un stade industriel et l'adaptation des étapes de fabrication de la céramique combustible au nouveau type de poudre seront étudiés. En outre, la démonstration de la faisabilité technologique de la transmutation nécessite l'accès à des outils de fabrication de combustibles expérimentaux : la faisabilité et le coût de la construction d'un pilote de fabrication de combustibles chargés en actinides mineurs pour des expériences à l'échelle de l'aiguille (projet ALFA) seront étudiés ; AREVA et CEA évalueront conjointement la faisabilité et le coût de la construction, sur le site de La Hague, d'un atelier de fabrication de combustibles MOX pour le prototype de réacteur rapide ASTRID.

L'évaluation de la faisabilité des différentes options de transmutation, qui n'ont pas aujourd'hui toutes le même niveau de maturité, passe par des considérations relatives à la fabrication des matériaux, la manipulation des combustibles, cibles ou couvertures, l'impact sur le réacteur, le comportement en irradiation et sa modélisation, et enfin le traitement du matériau irradié :

- Recyclage des actinides mineurs en mode homogène : les actinides mineurs sont incorporés au combustible dans des proportions faibles, si bien que l'impact sur les paramètres de sûreté du cœur reste limité (typiquement quelques %). S'agissant de l'option la plus mature, la

prochaine étape sera celle d'une démonstration de faisabilité à l'échelle de plusieurs aiguilles, qui pourrait être réalisée à l'étranger, ou directement dans le prototype français ASTRID.

- Recyclage des actinides mineurs en mode hétérogène : les actinides mineurs sont cette fois concentrés dans des assemblages dédiés positionnés en général en périphérie du cœur et qui de ce fait ont peu d'impact sur les paramètres de sûreté du cœur. Deux voies sont considérées :
 - le recyclage sur support inerte, pour lequel de nombreuses études ont déjà été réalisées, mais qui nécessitera de nouvelles expériences pour en consolider la faisabilité ;
 - les Couvertures Chargées en Actinides Mineurs (CCAM), voie qui paraît attractive et est jugée prioritaire à explorer par la Commission Nationale d'Evaluation ; un effort particulier sera fait sur ce sujet, notamment pour disposer des éléments relatifs aux performances de transmutation, à l'impact sur le cycle et à la sûreté du réacteur, parallèlement à la préparation d'expérimentations ;
- Recyclage en réacteur dédié de type ADS : les actinides mineurs sont concentrés dans le combustible de l'ADS (typiquement 50%) et sont alors associés à du plutonium. Des irradiations seront poursuivies, afin de réaliser en 2012 une première évaluation de la faisabilité du combustible des ADS.

Comme indiqué, une des voies possibles pour la transmutation des actinides mineurs repose sur l'utilisation de réacteurs de 4^{ème} génération. Les échéances pour la mise au point de ces réacteurs ont été fixées par les Comités de l'énergie atomique du 20 décembre 2006 et du 20 mai 2008. Après une consolidation prévue en 2009, une revue de faisabilité en 2012 devra permettre de faire un bilan dans la perspective d'un choix vis-à-vis de la filière gaz et de la filière sodium (avec quatre éléments principaux dans le dossier 2012 : sûreté, économie, cycle, perspectives industrielles).

A moyen et long terme, le déploiement des réacteurs de 4^{ème} génération nécessitera le traitement à plus grande échelle des combustibles MOX, ce qui aura des conséquences à anticiper sur la production de déchets (notamment augmentation des actinides mineurs). Le cycle du combustible associé aux réacteurs de 4^{ème} génération devra être défini avec un objectif de diminution des quantités, de la charge thermique et de la radiotoxicité des déchets, en anticipant les éventuelles évolutions nécessaires des filières de gestion des déchets. Enfin, dans la perspective de l'éventuelle construction de nouvelles usines de traitement-recyclage éloignées de la mer, le piégeage et le conditionnement de certains produits de fission volatils comme l'iode seront examinés.

Enfin, la séparation-transmutation nécessite des recherches amont dans le domaine des données nucléaires. Une liste hiérarchisée a été établie pour les isotopes (au premier rang de laquelle on trouve ceux de l'américium et du plutonium) et les sections efficaces (fission, capture, réaction, inélastique, totale) pour lesquels les données actuelles sont considérées comme de précision insuffisante, quand elles ne sont pas tout simplement manquantes. Ces données différentielles ainsi acquises pourront être utilisées dans les outils de simulation les plus récents pour une revisite des résultats disponibles d'expériences intégrales en réacteur rapide. Bien que le domaine énergétique couvert soit pour l'essentiel celui des réacteurs critiques thermiques et rapides, une fraction du programme de travail couvrira aussi les sections efficaces pertinentes (matériaux de structure essentiellement) pour les plus hautes énergies rencontrées dans les ADS.

Les recherches sur le stockage réversible en couche géologique profonde

Le PNGMDR précédent avait également fixé des jalons pour les recherches sur le stockage réversible en couche géologique profonde. L'Andra devait ainsi proposer fin 2009 (a) une zone d'intérêt de taille restreinte propice à l'implantation d'un stockage, sur laquelle seront mises en œuvre des techniques d'exploration approfondies ; (b) des options de conception, de sûreté opérationnelle et à long terme et de réversibilité ; (c) un modèle d'inventaire des déchets à prendre en compte ; et (d) des options d'entreposage en complément du stockage. Certains de ces éléments ont été présentés dans la partie 2.5.4, en particulier la zone d'intérêt de taille restreinte et le modèle d'inventaire.

L'Andra devra remettre fin 2012 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 géologique

profond. Il est en outre prévu que l'Andra dépose la demande d'autorisation de création d'un site de stockage géologique profond fin 2014, pour une mise en exploitation en 2025.

Après validation de la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) de l'ordre de 30 km², et afin de préparer l'implantation du stockage, des moyens de reconnaissance seront mis en œuvre à partir de 2010 permettant de définir avec précision la géométrie des couches géologiques, leur agencement et les propriétés des roches qui les composent. L'acquisition et le traitement de données de sismique 3D haute résolution viseront en particulier à conforter les interprétations sur la structuration de la pile sédimentaire, de s'assurer de l'absence de structures tectoniques dans la couche du Callovo-Oxfordien et de disposer d'une vision 3D de la distribution de certaines propriétés de la couche et de ses encaissants. On disposera également à ce stade d'une modélisation géométrique 3D de la couche qui fournira le cadre nécessaire pour proposer des choix d'implantation plus précise du stockage.

L'observation de l'environnement de surface visera à fournir les données réglementaires pour l'état initial du site, mais aussi à comprendre les dynamiques des milieux en vue de l'étude d'impact et du dimensionnement de la surveillance de l'environnement pendant la construction et l'exploitation du stockage. L'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE) vise notamment à faire face aux enjeux liés à la durée de l'observation/surveillance du stockage. Il envisage en particulier une gestion des données et une conservation des échantillons pour garder un état de la situation de référence au travers de la mise en place, à l'horizon 2012, d'une écothèque sur le site de Meuse/Haute-Marne.

L'observation et la surveillance des ouvrages, notamment celles des alvéoles, doivent permettre de suivre leur évolution phénoménologique et d'apporter les éléments de connaissance à l'appui de la gestion d'un stockage réversible. Il s'agit de pouvoir réévaluer la durée de vie des ouvrages et d'apporter les éléments requis à l'évaluation des conditions de retrait éventuel des colis de stockage. Dans ce cadre, les moyens de mesures sélectionnés doivent tenir compte des contraintes spécifiques d'un stockage, telles que la discrétion (miniaturisation, communication sans fil) et la robustesse (durabilité en milieu hostile, autonomie). Des actions de R&D seront ainsi nécessaires concernant les moyens de mesure, dont une partie sera réalisée dans le cadre du projet européen de monitoring « MoDeRn », qui s'inscrit dans le cadre du 7e PCRD et dont l'Andra est le coordinateur.

Le programme d'expérimentations et d'essais de démonstration en laboratoire souterrain définit des priorités pour répondre aux besoins du projet HA-MAVL et intègre les possibilités de développement de l'architecture du laboratoire offertes par le renouvellement de l'autorisation du laboratoire au-delà de 2011. On retiendra en particulier les objectifs suivants : connaissance accrue des phénomènes élémentaires (notamment comportements thermohydromécaniques, désaturation-resaturation et transfert des gaz ; interactions entre matériaux du stockage et argilites) ; mise au point de la méthode de creusement des alvéoles de stockage de déchets HA ; essais de creusement à la machine à attaque ponctuelle et de soutènements non cintrés ; essais préparatoires à l'essai de scellement en galerie, réalisation du scellement.

Des recherches seront également menées en support à l'expertise de sûreté du stockage en formation géologique profonde : 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, notamment stockage en couche géologique profonde. Les activités de recherche de l'IRSN sur ce sujet se positionnent différemment de celles 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. L'IRSN a prévu, durant la période 2009-2012 d'explorer plus particulièrement les domaines suivants : caractéristiques importantes pour la capacité de confinement de la barrière géologique (en particulier pour le site étudié par l'Andra) ; phénomènes thermiques, hydriques et mécaniques susceptibles d'affecter les performances des composants du stockage (notamment le processus de création de la zone fracturée autour des ouvrages lors de leur creusement, ou EDZ), principaux facteurs d'évolution physico-chimique des composants du stockage, et modélisation globale du stockage. L'IRSN continuera à réaliser ses recherches en coopération avec d'autres partenaires scientifiques, et à mettre à disposition de son réseau de partenaires ses moyens expérimentaux, en particulier la station expérimentale en milieu argileux de Tournemire (Aveyron).

Enfin, les recherches en sciences humaines et sociales seront poursuivies, en particulier dans le domaine de la réversibilité. Sur la base d'une journée d'études organisée sur ce thème le 2 octobre 2008, l'Andra a organisé un colloque interdisciplinaire en juin 2009. En élargissant la réflexion à d'autres domaines (OGM, nanotechnologies, réchauffement climatique...) et à d'autres expériences industrielles comparables, il est envisagé de publier un ouvrage de référence sur la question. La manifestation de juin 2009 préfigure par ailleurs le colloque international de l'AEN/OCDE prévu en 2010. L'Andra a souhaité consolider cette communauté d'intérêt entre les SHS et l'Agence autour de la réversibilité avant d'élargir la liste des thématiques à traiter et les possibilités de collaboration. Il est d'ores et déjà envisagé d'aborder la question de la préservation de la mémoire des sites dans le même esprit dès 2009-2010.

Recherches sur l'entreposage des déchets HA-MAVL

Le PNGMDR précédent prévoit que l'Andra remette au plus tard fin 2009 aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement, le programme des études qu'elle propose de mener sur les évolutions possibles en matière d'entreposage des déchets HA et MAVL.

Les études de scénarios entreposage-transport-stockage identifiées aux sections 2.1.2 et 3.1.2 permettront de préciser le recensement des besoins en entreposage : familles et formes²⁷ de colis à entreposer, capacités nécessaires, dates de mise à disposition et durées d'exploitation cibles. Ces études viseront à une optimisation d'ensemble des filières de gestion, au plan de la sûreté, de l'impact environnemental et du coût. Elles prendront en compte la réversibilité du stockage, notamment en identifiant systématiquement des solutions d'entreposage pour accueillir des colis qui seraient retirés du stockage.

Les recherches en vue de la conception des installations d'entreposage seront essentiellement orientées vers le comportement des matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages d'entreposage et dans une moindre mesure vers le comportement des matériaux de colisage : étude de la carbonatation des matériaux cimentaires, évaluation du fluage des bétons en température, études sur les transferts gazeux et aqueux dans les matériaux cimentaires non saturés, analyse documentaire de la corrosion des matériaux métalliques sous rayonnement, établissement d'un modèle de corrosion atmosphérique, etc.

En outre, l'Andra pilotera, en lien avec les producteurs de déchets, d'ici 2012, des études de concepts techniques pour (i) approfondir des solutions innovantes renforçant la complémentarité entreposage-stockage, ces solutions pouvant bénéficier à tous les projets futurs d'installations d'entreposage, (ii) concevoir des installations d'entreposage qui pourraient être intégrées au centre de stockage géologique profond, pour les différents scénarios envisageables de gestion des colis de déchets (voir la section 3.1.2). Ces études porteront sur l'ingénierie des installations, leur comportement et leur évolution phénoménologiques à l'échelle séculaire, leur sûreté. Elles seront 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. Les études et recherches viseront également à conforter la durabilité de futures installations d'entreposage sur une durée séculaire, et à accroître leur polyvalence vis-à-vis des colis de déchets qui y seront accueillis.

L'Andra recueillera et capitalisera le retour d'expérience de la construction et de l'exploitation des installations existantes ou en développement. Elle apportera un appui technique aux exploitants pour favoriser la complémentarité de leurs projets de création ou d'extension avec le stockage. Elle élaborera un guide de recommandations pour la conception d'installations d'entreposage s'inscrivant dans cette complémentarité.

L'Andra remettra fin 2012 un bilan d'ensemble des études et recherches sur l'entreposage qu'elle aura pilotées et coordonnées (y compris les études concernant les déchets HA-MAVL

²⁷ La forme peut correspondre au colis primaire tel que décrit dans l'Inventaire national, ou au colis de stockage.

mentionnées au 3.1.2). Les propositions retenues dans le cadre de la prochaine révision du PNGMDR, en complément aux capacités de transit nécessaires à l'exploitation du stockage, seront présentées au débat public sur le projet de centre de stockage. En fonction des suites données au débat, elles pourront être incluses dans la demande d'autorisation de création du centre (DAC) présentée par l'Andra en vue d'une instruction en 2015. Le dossier de DAC tiendra compte de l'ordonnement dans le temps de la mise à disposition des capacités d'entreposage.

Recherches sur la connaissance et le conditionnement des déchets HA-MAVL

Le procédé industriel de référence pour le conditionnement des déchets de haute activité en France est aujourd'hui la vitrification. **Les études de formulation des verres seront poursuivies pour tenir compte des évolutions des compositions des solutions de produits de fission et traiter d'autres types de déchets**, notamment en liaison avec la mise en service en 2010 d'un procédé de vitrification en creuset froid dans une chaîne de vitrification à la Hague. **A plus long terme, dans un souci de rationalisation, des études (procédé et matériaux) visant à élargir le champ d'application de la vitrification seront poursuivies pour certains effluents.** Pour les verres "actuels", afin d'accroître progressivement le réalisme 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 seront menées, en tenant compte par ailleurs des possibilités d'évolution dans la composition des combustibles usés (notamment teneurs accrues en actinides mineurs). Des études viseront également à proposer des modèles moins majorants pour le transfert des radionucléides hors du verre et au sein des produits de corrosion. Cette recherche permettra de consolider les modèles de comportement du colis de déchets vitrifiés dont une première version est attendue pour 2010 et les référentiels de connaissance attendus pour 2012.

Concernant les déchets MAVL, dans le cadre des travaux menés sur l'axe 3 de la loi du 30 décembre 1991, il a été montré que des procédés de conditionnement pourront être mis en œuvre pour les différentes catégories de déchets existants. La Commission Nationale d'Evaluation a retenu que dans ce domaine la maturité industrielle avait été obtenue mais que de nombreuses pistes d'amélioration existent encore en termes de conditionnement (pour les déchets « historiques » notamment). Les recherches à poursuivre ont pour objectif d'explorer et de mettre en œuvre des voies d'amélioration. **Les études sur la connaissance et le conditionnement des déchets de moyenne activité seront poursuivies afin de (i) continuer à réduire le volume des déchets produits, outre les objectifs de réduction des déchets à la source ; (ii) obtenir une forme physico-chimique des déchets la plus inerte possible, facilitant leur conditionnement ultérieur ; et (iii) disposer de modes de conditionnement permettant une meilleure maîtrise des colis de déchets produits, limitant les contraintes pour la sûreté en exploitation et à long terme du stockage.**

Plus précisément, les enjeux importants des années à venir concernent :

- 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 traitement des déchets : en particulier, développement de voies de traitement des déchets contenant des matières organiques, notamment les déchets technologiques (résines échangeuses d'ions, gants en latex ou néoprène, autres polymères...) ou d'effluents (solvants organiques, solutions tensioactives...) ;
- le conditionnement des déchets : élargissement du domaine des déchets pouvant être conditionnés par cimentation ou vitrification, tout en conservant les atouts en termes de coût et mise en œuvre ; études de formulation des bétons pour conditionner des effluents liquides (riches en sulfates ou en borates...) ou solides (déchets provenant du dégainage des combustibles UNGG, déchets graphite...).

L'article 7 de la loi du 28 juin 2006 précise que les propriétaires de déchets MAVL produits avant 2015 doivent les conditionner au plus tard en 2030. **Afin de préparer le stockage de ces déchets MAVL historiques, il est demandé aux producteurs de présenter fin 2011 un point d'avancement des travaux qu'ils auront menés en lien avec l'Andra pour définir des modes de conditionnement**

appropriés ; il s'agira d'identifier les difficultés principales restant à résoudre et de dresser un premier bilan des solutions envisagées.

Les études de comportement à long terme des déchets MAVL continueront à porter sur trois grandes thématiques, faisant l'objet de sous groupes du comité technique Andra / CEA / Producteurs : les colis de boues bitumées ; les gaz issus de la corrosion des matériaux métalliques et les gaz radioactifs ; les déchets organiques (autres que les boues bitumées). Concernant les colis de stockage en béton, la R&D mise en œuvre au sein du groupement de laboratoires « évaluation des structures cimentaires » sera poursuivie.

En particulier, comme indiqué au 2.5.4, un programme de R&D a été mis en place pour améliorer les outils de modélisation pour la prévision de la production d'hydrogène, et pour identifier les productions de molécules hydrosolubles, produits de dégradation des polymères, susceptibles de complexer les radionucléides. Il aboutira notamment à la constitution d'une base de données (PRELOG) sur les données intrinsèques relatives aux polymères qui, couplée à la modélisation, permettra d'évaluer les rendements de production de gaz à partir des principales données de composition des polymères et du spectre du rayonnement.

L'Andra remettra pour fin 2010 un rapport évaluant l'impact sur le stockage des déchets contenant des matières organiques, et irradiants ou riches en éléments émetteurs alphas, en particulier vis-à-vis de la sûreté en stockage.

En ce qui concerne les déchets contenant des matières organiques, 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 d'éviter l'apparition de substances pouvant présenter un caractère complexant ainsi que les interactions avec les microorganismes. Ces procédés de réduction du contenu organique des déchets comprennent notamment la séparation des flux en amont, et le traitement à froid ou à chaud

A ce titre, la minéralisation des déchets à vie longue contenant une part organique significative, par procédés chauds constitue un axe de progrès technologique prometteur, sous réserve d'affiner la faisabilité technico-économique. Ces techniques seront étudiées dans le cadre des déchets MAVL mais pourraient éventuellement être étendues à toutes les filières.

L'incinération permet aujourd'hui de traiter certaines familles de déchets organiques de faible ou de moyenne activité à vie courte et permet aussi de traiter un certain nombre de déchets liquides non admissibles directement dans les centres de stockage de l'Andra du fait de leur état physique. Un incinérateur nucléarisé CENTRACO est actuellement exploité par la société SOCODEI à Marcoule. En prenant en compte le conditionnement nécessaire à la gestion des déchets par l'Andra, le volume des déchets incinérés est réduit d'un facteur compris entre 10 et 20. L'incinération est un procédé de traitement bien adapté aux déchets de faible et moyenne activité à vie courte contenant beaucoup de matière organique. Les déchets ainsi traités sont, entre autres, les équipements des intervenants en zone contrôlée (gants, surbottes, combinaisons de travail), mais aussi les effluents liquides (solutions de lavage, huiles, solvants, concentrats), les filtres et les résines provenant des installations nucléaires. La valorisation énergétique de l'incinération reste aujourd'hui marginale mais serait une valeur ajoutée de la filière. L'incinération pourrait dans certains cas permettre de dénaturer des composants dangereux pour éviter qu'ils soient récupérables et potentiellement attrayants après la fermeture du stockage.

Pour les déchets de moyenne activité à vie longue, la R&D porte actuellement sur un procédé d'incinération du déchet au sein d'un plasma gazeux à haute température (4500°C), généré par une torche. Les études en cours s'intéressent également à l'incorporation directe dans un bain de verre en fusion (procédé SHIVA). La technique de destruction par plasma suivie d'une vitrification est déjà utilisée pour la destruction de certains types de déchets industriels, comme les déchets issus de l'industrie électronique. Les études visent à rendre cette technique applicable aux déchets de moyenne activité à vie longue. Les travaux porteront notamment sur la nucléarisation de l'ensemble de la technologie. La limitation est l'investissement nécessaire et les coûts de fonctionnement qui deviennent élevés avec une exploitation dans le domaine nucléaire.

Le CEA et AREVA présenteront les bilans des études dans ce domaine fin 2011. Ces études seront conduites de façon à assurer le pré-développement du procédé, à le porter au stade de la faisabilité industrielle et de pouvoir, d'ici 2020, statuer sur le lancement du déploiement à l'échelle industrielle. De manière plus générale, concernant les déchets contenant une fraction significative de matières organiques, les producteurs concernés présenteront fin 2011 les scénarios de traitement-conditionnement envisageables permettant notamment de limiter la production d'hydrogène, en tenant compte des aspects radioprotection, industriels et financiers ainsi qu'un calendrier volontariste de mise en œuvre du ou des procédé(s) envisagés.

3.6. Améliorer la cohérence globale de la gestion des matières et déchets radioactifs

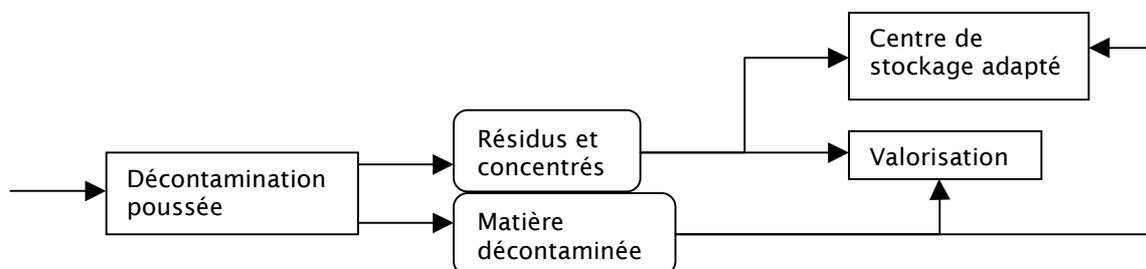
Trois voies sont poursuivies pour améliorer la cohérence globale de la gestion des matières et déchets radioactifs : la définition de filières de gestion pour les catégories de déchets n'en disposant pas encore ; l'optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion, d'ores et déjà existantes ou en projet ; et les recherches dans le domaine des sciences humaines et sociales.

3.6.1. Définir des modes de gestion pour les catégories de déchets actuellement sans filière

Le paragraphe 2.6.1 a dressé une liste de catégories de déchets actuellement sans filière de gestion. **Les exploitants nucléaires et l'Andra définiront d'ici fin 2011 des modalités de gestion adaptées aux particularités physico-chimiques de ces déchets.** Pour ce faire, un groupe de travail piloté par la DGEC et associant l'ASN sera mis en place. Le cas échéant, les programmes de R&D nécessaires à la mise en place de ces filières seront décrits.

En particulier, la mise en œuvre de procédés de décontamination poussée peut être une solution très intéressante dans certains cas où les radionucléides ne sont pas issus de l'activation du matériau. Ils permettent la récupération des matières radioactives valorisables ou la concentration des radionucléides pour une gestion spécifique. Les barrières de diffusion de l'usine Georges Besse sont un exemple de déchet FAVL qui après décontamination poussée devraient avoir une activité compatible avec le CSTFA. L'uranium extrait des barrières de diffusion sera valorisé.

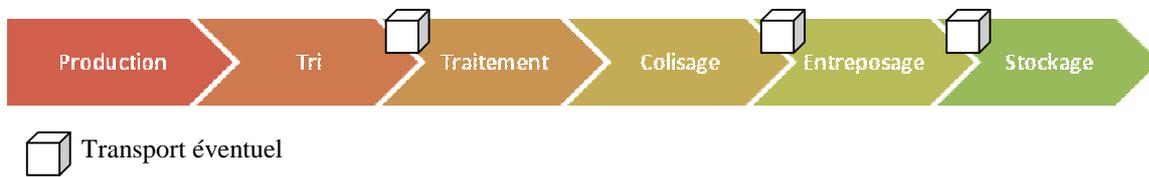
De même les traitements par des procédés thermiques, conduisant notamment à la minéralisation des composés organiques, sont à envisager, comme par exemple celui décrit au paragraphe précédent relatif aux recherches sur conditionnement des déchets HA-MAVL,



3.6.2. Optimiser la répartition des déchets entre filières de gestion

Un groupe de travail, piloté par la DGEC, incluant l'ASN, le DSND, l'Andra et les principaux producteurs de déchets (Areva, CEA, EDF, Rhodia), sera chargé de définir des pistes d'optimisation de la répartition des déchets entre filières de gestion.

L'ensemble de la chaîne de gestion, de la production des déchets à leur stockage, sera à considérer.



Dans la mesure où une optimisation globale de la gestion de tous les déchets radioactifs français est difficilement réalisable, des études par type de déchet, type de traitement ou filière de stockage pourront être envisagées.

Plus précisément, le groupe de travail sera chargé de proposer des scénarios industriels progressifs optimisant la répartition des déchets entre les filières TFA, FMA-VC, FAVL et MAVL. Cette optimisation s'entend comme la définition, si possible en amont de la production du déchet, de la meilleure filière de traitement et de stockage, proportionnée aux risques liés à chaque déchet (notamment en termes de dose avec une optimisation ALARA), dans une logique de rareté de la ressource « volume de stockage, et en tenant compte des aspects technico-économiques ». **Le groupe de travail remettra fin 2011, une proposition de modalités de répartition optimisée des flux de déchets entre les filières existantes ou en projet, et les inventaires prévisionnels par filière en découlant. Une méthodologie sera proposée fin 2010.** Le groupe étudiera en priorité le cas des déchets contenant des éléments à vie longue afin de consolider le modèle d'inventaire prévisionnel du projet de stockage FAVL, et portera une attention particulière aux conditionnements de déchets.

3.6.3. Les études en sciences humaines et sociales

La recherche académique sur le nucléaire

Comme le lui a expressément demandé l'édition 2007 du PNGMDR et le Conseil Scientifique du CNRS, le programme PACEN s'attache à développer sa composante de recherche dans le domaine des sciences sociales (ACSSON). A priori, celle-ci a vocation à couvrir l'ensemble des questions de société concernant le nucléaire civil. Les sujets abordables vont donc au-delà de la traditionnelle question du risque radionucléaire et de sa perception par le public. Un éventail de sujets ont ainsi été évoqués parmi lesquels on citera les expériences étrangères tant pour le nucléaire civil en tant que composante du dispositif de production électrique que pour la problématique sociale de la gestion des déchets engendrés par cette production. Les méthodologies de communication des acteurs (pour ou contre), la signification d'un nucléaire qui se dirait « durable », l'évaluation des bénéfices de la transparence, les aspects spécifiques des droits français et internationaux sont des thèmes qui méritent aussi d'être considérés. Finalement il serait important de reprendre l'ensemble des études de nature économique au sens le plus large, c'est à dire incluant les impacts environnementaux. Il y a donc une grande variété de thèmes pour lesquels une réflexion de la communauté des sciences sociales serait largement profitable au programme de recherche du PNGMDR.

Pour tenir compte des modalités de fonctionnement de la communauté SHS, il a semblé plus efficace à PACEN de ne pas chercher à hiérarchiser les sujets sur lesquels une action serait lancée. On s'est plutôt attaché, par une exploration large et indifférenciée, à repérer un ou plusieurs chercheurs qui accepteraient de porter un projet pertinent. Il leur est alors laissé la possibilité de moduler le thème et d'organiser un séminaire ou toute autre forme d'activité. PACEN s'attache donc à laisser aux acteurs la plus grande liberté pour définir le format de leur action. Une fois qu'une certaine « masse critique »

sera atteinte, on essayera, si c'est possible, de structurer les actions qu'il aura été possible de lancer en un tout cohérent. Dans un premier temps ACSSON sera donc plus une enveloppe d'actions juxtaposées qu'un programme unifié.

A la fin 2007, ACSSON a lancé un séminaire sur le thème de la temporalité en relation avec le nucléaire. Celui-ci apportera ses conclusions en 2009. Il s'agit d'analyser la façon dont les longues échelles de temps du nucléaire s'étalant de la décennie à des centaines de milliers d'années peuvent être assimilées par une société dont les rythmes d'évolution s'étagent plutôt de quelques mois à un mandat politique. L'année 2009 a vu le lancement d'un séminaire ALIEN sur l'Allemagne. La première année, ALIEN suivra l'évolution des idées sur le nucléaire civil en Allemagne depuis la fin de la guerre jusqu'à la situation actuelle et la mise en place de la doctrine du « sortir du nucléaire ». L'année 2010 s'attachera à analyser les dilemmes énergétique et climatique associés à la situation présente et les voies possibles de résolution. Une action sur le droit et le nucléaire est actuellement en préparation.

La recherche en sciences humaines et sociales à l'Andra

En définissant sa politique de recherche en Sciences Humaines et Sociales (SHS), l'Andra vise notamment à intéresser les chercheurs en SHS aux travaux de l'Andra et à mobiliser progressivement cette communauté autour de sujets d'intérêt commun. La thématique de la réversibilité a été choisie à ce propos et dans un premier temps, en vue d'incorporer les aspects sociaux dans la conception du futur centre de stockage et de favoriser les échanges avec les parties prenantes (cf. partie 3.5.4).

Des sujets de recherche orientés spécifiquement vers les SHS sont proposés régulièrement dans le programme d'allocations de thèses de doctorat de l'Andra comme l'approche économique de la réversibilité qui fait déjà l'objet d'une recherche doctorale.

Dans une perspective de long terme, le rôle de médiation entre le technique, le politique et le social que l'Andra est voué à jouer en vue de produire une expertise à finalité politique devra être interrogé de manière réflexive. L'orientation stratégique de l'organisation sera donc un sujet d'investigation très important dans l'avenir proche pour lequel l'apport de la communauté des SHS apparaît essentiel.

Outre la stratégie de recherche énoncée précédemment, et dans un but plus opérationnel, des études ponctuelles ont été aussi proposées dans le cadre des programmes scientifiques des projets HA-MAVL et FAVL. Ces études ont trait à des questions qui vont de la perception des risques à leurs conséquences sociétales, de l'aménagement des territoires aux modalités de concertation ou de la temporalité à la gestion des grandes échelles de temps. Moins directement axées sur la recherche, elles visent principalement le recueil d'informations et l'élaboration de conseils pour l'Agence en relation avec l'actualité des différents projets.

Conclusion

La gestion des matières et des déchets radioactifs ne pose actuellement pas de risque significatif vis-à-vis de la protection des personnes et de l'environnement, même si, naturellement, le risque zéro n'existe pas. En France, cette gestion est contrôlée en toute indépendance, du point de vue de la sûreté et de la radioprotection, par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et le DSND.

85% du volume des déchets radioactifs dispose d'ores et déjà de filières de gestion à long terme, les autres déchets étant entreposés temporairement dans l'attente de telles filières de long terme. Si le cadre de gestion mis en place est donc d'ores et déjà solide, des progrès doivent néanmoins encore être réalisés, en particulier pour définir des filières de gestion à long terme pour l'ensemble des déchets.

La première édition du PNGMDR, publiée en 2007, avait identifié plusieurs types de déchets et de matières (déchets de faible activité à vie longue, déchets de haute et moyenne activités à vie longue, déchets tritiés, sources scellées usagées, résidus miniers, déchets à radioactivité naturelle renforcée, matières pour lesquelles aucun procédé de valorisation n'encore été mis en œuvre,...) nécessitant la mise en œuvre de nouvelles filières de gestion ou l'amélioration des filières existantes. Dans cette optique, cette édition spécifiait, pour chacun de ces déchets, les études et recherches à mener. Cette nouvelle édition du PNGMDR repose en grande partie sur les résultats de ces études et recherches. L'Inventaire national des matières et déchets radioactifs, publié par l'Andra mi-2009, a également été particulièrement utile, notamment pour l'évaluation des perspectives de production de déchets dans les prochaines décennies ainsi que pour l'évaluation des besoins d'entreposage.

L'édition 2010-2012 du PNGMDR propose de poursuivre et d'intensifier les actions engagées lors de la parution de la précédente édition sur plusieurs sujets, notamment :

- les études et recherches doivent être poursuivies en vue de la mise en service de deux centres de stockage, de long terme, pour les déchets de faible activité à vie longue (FAVL) et pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL) ;
- la gestion des matières radioactives valorisables, dont le caractère effectivement valorisable est présenté et analysé dans ce PNGMDR, doit faire l'objet d'études à titre conservatoire au cas où elles seraient in fine qualifiées de déchets ; des études spécifiques au thorium seront lancées au vu des réserves désormais émises quant à son caractère valorisable ;
- des efforts de recherche et développement importants doivent être conduits sur le conditionnement des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL). Des études sont à poursuivre pour réduire le volume des déchets, obtenir une forme physico-chimique plus inerte et d'une manière plus générale améliorer la sûreté de la gestion. L'effort de recherche doit être en particulier accentué sur le conditionnement des déchets MAVL produits avant 2015, pour lesquels la loi précise qu'ils devront être conditionnés au plus tard en 2030 ;
- le recyclage, dans la filière nucléaire, des déchets issus du démantèlement des installations nucléaires doit être encouragée. AREVA, le CEA, EDF et l'ANDRA doivent conjuguer et accroître leurs efforts pour mettre en place ces filières ;
- les installations d'entreposage proposées par le CEA pour les déchets tritiés apportent une solution concrète assurant la sûreté à court et moyen termes de la gestion de ces déchets dans l'attente de leur prise en charge dans des filières d'élimination existantes ou à créer ; la démarche proposée doit maintenant être mise en œuvre. Des solutions opérationnelles pour les déchets tritiés sans filière provenant du secteur du « nucléaire diffus », dont les modes de gestion actuels sont souvent inappropriés, doivent toutefois encore être étudiées ;
- le renforcement de la qualité des couvertures des sites de stockage de résidus miniers se dégage sur plusieurs sites comme une solution efficace, à la lumière des résultats des évaluations d'impact à long terme. Ce renforcement doit être mieux étudié, afin d'en évaluer la

faisabilité et la pertinence sur l'ensemble des sites de stockage de résidus miniers. Des dispositions ayant trait à l'amélioration de la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et à la gestion des stériles doivent également être mises en œuvre ;

- un inventaire des filières de valorisation des résidus contenant de la radioactivité naturelle renforcée doit être réalisé et des solutions d'entreposage pour les industriels produisant ponctuellement des déchets à radioactivité naturelle renforcée doivent être trouvées ;
- plusieurs axes de travail pour la gestion des sources scellées usagées sont à mettre en œuvre notamment pour permettre l'identification de la filière de stockage et optimiser la planification des reprises et des collectes de ces sources.

La nouvelle édition du PNGMDR 2010-2012 est aussi l'occasion de traiter de nouveaux sujets, non abordés dans la précédente édition, notamment :

- les entreposages de déchets anciens, pour lesquels un état des lieux des actions engagées ou à engager en vue de les désentreposer est dressé. Les exploitants d'installations nucléaires de base devront également déterminer un programme en vue de vérifier qu'il n'existe pas dans le périmètre de leurs installations ou de leurs centres, de stockages historiques de déchets qui auraient été omis lors des déclarations à l'Andra pour l'inventaire national établi en 2009 ;
- les déchets entreposés sur le site de Comurhex à Malvézi dans des bassins de lagunage, pour lesquels AREVA devra proposer des filières sûres de gestion à long terme ;
- les stériles miniers pour lesquels il est apparu important de consolider les lieux de réutilisation et de vérifier la compatibilité des usages à l'aplomb et dans l'environnement immédiat des zones où ces stériles ont été utilisés par le passé ;
- l'amélioration de la cohérence globale de la gestion des matières et des déchets radioactifs, en veillant à l'exhaustivité des filières de gestion et en optimisant la répartition des déchets entre les filières de gestion.

Cette nouvelle version 2010-2012 sera transmise au Parlement fin 2009 et fera l'objet d'une évaluation par l'OPECST. Un nouveau décret fixant les prescriptions du PNGMDR sera publié en 2010 pour formaliser les principales demandes ou études à conduire.

Le travail n'est pas achevé et les défis sont donc encore nombreux afin que chaque déchet radioactif dispose d'une filière de gestion de long terme. Avec la publication de cette nouvelle édition du PNGMDR, une nouvelle étape dans le processus d'amélioration de la gestion des matières et des déchets radioactifs vient toutefois d'être franchie.

Annexe : Synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers

I. 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, Etats-Unis, Finlande, Japon, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse). La notion de « réalisation » est interprétée de manière assez large, en incluant en particulier l'élaboration du cadre légal et la définition d'une classification des déchets radioactifs.

I.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 Espagne, le Plan Général des déchets radioactifs, révisé régulièrement, correspond simplement à des directives d'ensemble sur le plan institutionnel.

En Belgique, l'Ondraf doit également établir un Plan Déchets à l'horizon 2010 pour établir différentes pistes de gestion à long terme et analyser leurs incidences environnementales.

Au Royaume-Uni, le Livre Blanc intitulé *Managing Radioactive Waste Safely - proposals for developing a policy for managing solide radioactive waste in the UK* annonce un plan et une organisation pour la gestion des déchets.

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 Etats-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 en Belgique, ni aux Etats-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'état est responsable des déchets civils à partir de la phase de transport (suivie des phases de stockage après enfouissement, et de stockage après fermeture du site).

La liste des organismes en charge des déchets radioactifs est représentée dans le tableau ci-dessous :

Pays	Organisme		Statut	Date création	Remarques
Allemagne	BFS	Bundesamt für Strahlenschutz	gouvernemental (BMU)	1989	
Belgique	ONDRAF	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	Everclean Environmental Engineering Corp.	public	1995	
Espagne	ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.	public	1984	
Etats-Unis	OCRWM	Office of Civilian Radioactive Waste Management	gouvernemental (US.DOE)	1982	
Finlande	POSIVA	Posiva Oy	privé	1995	Stockage géologique des CU
France	ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs	public	1991	
Japon	NUMO	Nuclear Waste Management Organization of Japan	public	2000	Stockage définitif déchets HA
Pays-Bas	COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval	public (depuis 2002)	1982	
Royaume-Uni	NDA	Nuclear Decommissioning Authority	public	2005	
Suède	SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB	privé	années 70	
Suisse	NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle	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.

I.2. Classification des déchets

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 ex. Belgique, Espagne). Il est à noter que l'AIEA a recommandé une classification de cette nature dans la Convention Commune (sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs).

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 basé 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 : USA, 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., en particulier 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.

II. Filières de gestion existantes ou en cours de réalisation

II.1. Choix du type de cycle du combustible

Plusieurs des pays pris en compte dans l'étude ont fait le choix du traitement des combustibles usés et ont construit des installations à cette fin : le Royaume Uni (dont les installations ont récemment connu des périodes de mise à l'arrêt, mais dont l'exploitation serait autorisée jusqu'en 2012) et le Japon (en réalité toujours en instance de mise en service industriel). La Chine a également opté pour un cycle du combustible fermé, mais n'a pas encore d'installation opérationnelle (simple projet de construction d'installations, notamment avec l'aide de la France).

La plupart des pays n'ayant pas construit d'installations dédiées sur leur propre territoire ont fait, ou font encore, retraiter tout ou partie de leurs combustibles usés dans des usines à l'étranger, notamment l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suisse et très partiellement l'Espagne. La plupart 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 engagés par voie législative. La Belgique a également suspendu son contrat de traitement des déchets avec Areva en 2000. Certains de ces pays réfléchissent toutefois à une évolution de cette doctrine.

L'autre option, consistant à gérer directement les combustibles usés sans phase de séparation ni de traitement, continue à être retenue au Canada, en Finlande et en Suède. C'est également le cas en Espagne et aux Etats-Unis (depuis la présidence Carter), mais ces deux pays n'écartent pas de recourir dans le futur au traitement de leurs combustibles usés.

II.2. Gestion des déchets FMA

Dans la majorité des cas, des projets de centres de stockage en surface ou subsurface, avec une localisation précise, sont en cours d'élaboration voire déjà en exploitation. Il faut noter que 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 réalisés ou en cours de réalisation, citons au Canada le projet près du réacteur de Bruce (Ontario), en Chine le stockage de Beilong, en Espagne celui d'El Cabril, aux Etats-Unis les centres de Barnwell, Richland, Clive et Andrews, en Finlande ceux d'Olkiluoto et de Loviisa creusés

dans le granite à une profondeur de 60-100 m, au Japon celui de Rokkasho-Mura, au Royaume-Uni celui de Drigg, et en Suède le centre SFR de Forsmark situé à 50 mètres sous la mer Baltique. Un stockage géologique serait quant à lui mis en œuvre en Allemagne à partir de 2014 pour les déchets FMA dans l'ancienne mine de fer de Konrad à Salzgitter.

Certains pays n'ont pas encore de projet identifié pour le stockage des déchets de faible et moyenne activité, et ont en conséquence opté pour un simple entreposage dans l'attente d'une solution pérenne, notamment les Pays-Bas et la Suisse.

A contrario, certains sites de stockage de déchets FMA sont déjà remplis : Asse (dédié au départ à l'étude du stockage des déchets radioactifs mais devenu un stockage de fait) et Morsleben (exploité jusqu'en 1998 et actuellement en cours de fermeture) en Allemagne, Dounreay (pour lequel un nouveau projet est en cours d'instruction) en Ecosse au Royaume-Uni.

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 et au Royaume-Uni, qui possèdent tous deux des déchets de type graphite.

II.3. Gestion des déchets HA

Tous les pays s'orientent vers le stockage en couche géologique profonde, mais 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 Osthhammar (commune du site électronucléaire de Forsmark). La mise en service de ces centres est prévue entre 2020 et 2025. En Finlande, un laboratoire souterrain de qualification, Onkalo, est en cours de creusement sur le site du futur stockage. La profondeur cible de 500m devrait être atteinte en mars 2010, et le creusement des infrastructures se terminer en 2012. 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). Le programme prévoit une demande d'autorisation d'ici fin 2010, une autorisation après 2013, l'engagement des travaux en 2015 et une mise en service en 2023.

Au 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) en septembre de la même année. Dès début 2009, les fonds alloués par la nouvelle administration laissaient augurer des retards, voire une remise en cause du projet. Les budgets des années 2009 puis les demandes pour 2010 confirment cette tendance. Un groupe d'experts « blue ribbon panel » devrait être prochainement mis en place pour proposer des scénarios de substitution et l'étude de solutions alternatives, prenant en compte l'option de retraitement des combustibles usés.

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. En Allemagne, les travaux du site de Gorleben ont été suspendus en 2000 pour un moratoire de 10 ans. Le projet devrait donc redémarrer dans le courant de 2010.

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,

au Canada (où le processus est progressif), ni en Suisse. Au Royaume-Uni, il a proposé par la commission sur la gestion des déchets radioactifs (CoRWM) de se laisser la possibilité d'entreposer les déchets pendant une période d'environ 50 ans avant le stockage. Le NDA a défini un nouveau cadre de concertation pour la recherche de site, et plusieurs candidats autour du site de Sellafield (Cumbria) se sont depuis manifestés. Un accord a été signé entre la région du Cumbria (Country Council) et le NDA et les travaux de reconnaissance sur site pourraient reprendre dès 2010, sous la coordination du BGS (Bureau Géologique britannique). De même, les Pays-Bas ont construit un entreposage pour une longue durée (de l'ordre du siècle), le stockage géologique devant être étudié d'ici là. L'Espagne a quant à elle choisi en 1999 de ne pas prendre de décision concernant le site de stockage avant 2010, et de ne pas entreprendre de recherche de site de stockage auparavant (mais un appel à candidatures a été lancé pour un entreposage centralisé).

III. Le stockage comme solution de référence

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. Les roches hôtes sont choisies en fonction de leurs qualités et des possibilités géologiques des pays concernés.

Aucun pays n'a encore délivré d'autorisation formelle de stockage de ces déchets, y compris des combustibles usés, hormis les USA pour les déchets d'origine militaire²⁸. Le niveau d'avancement des projets varie selon les pays.

La faisabilité scientifique et technique peut être considérée dans certains cas comme acquise et les pays les plus avancés en sont au stade de la qualification finale du site et de l'optimisation des concepts et de l'ingénierie.

La plupart des pays, tout comme la France, 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.

III.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 l'Allemagne avec une forte implication de GRS (organisme de recherche dépendant du gestionnaire des déchets BfS) et du BGR (le bureau d'études géologiques de Basse Saxe) pour le dossier du stockage géologique des déchets exothermiques. DBE intervient en tant qu'ingénierie.

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.

²⁸ Le WIPP (Waste Isolation Pilot Plan) a été mis en exploitation en Mars 1999, au sud-est du Nouveau Mexique. Il s'agit d'un centre de stockage de déchets militaires transuraniens, situé à 635 m de profondeur, dans une couche de sel.

III.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 (méthodologie²⁹ 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) 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 devrait être demandée en 2010 (hors du site même d'Äspö).

Les recherches récentes portent sur l'étude d'une variante de KBS3 avec des alvéoles horizontales. Des essais d'endurance sont réalisés sur le dispositif de mise en place et de retrait d'un ensemble de 50 t (conteneur et sa coque de bentonite) au sein d'un tunnel de 90 m de long et 1,80 m de diamètre. Début 2009, ces essais représentent déjà des déplacements cumulés en tunnel supérieurs à 300 km.

En Finlande, POSIVA creuse dans un granite à Onkalo un laboratoire de qualification installé au lieu même du futur centre de stockage. En mars 2009 le creusement a atteint 330 m de profondeur avec une descendrière d'environ 3500 m de longueur. Trois puits forés (raise boring) atteignent 290 m pour les plus profonds. Les recherches portent 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.

Les recherches actuelles, au moyen du démonstrateur de concept PRACLAY, portent sur les conséquences du stockage de déchets exothermiques (HA et CU) sur le champ proche et sur la formation argileuse hôte. PRACLAY est conçu sur la base d'un concept générique représentatif du concept de référence belge de super conteneur en alvéole horizontale avec soutènement à claveaux de béton (wedge block). La galerie d'essai a une longueur de 45 m (diamètre 2,5 m). Les dix années de phase thermique commenceront en 2010.

La Suisse avec deux laboratoires aux statuts très différents :

- GTS (GRIMSEL Test Site), laboratoire méthodologique en milieu granitique mis à disposition de NAGRA à partir de galeries appartenant aux électriciens ; les recherches actuelles concernent l'instrumentation et la surveillance des ouvrages. Cependant le démonstrateur du concept de stockage espagnol de combustible usé en galerie, FEBEX, mis en place par ENRESA en 1997, est toujours actif.
- Mont Terri, consortium international initié en 1996 par la NAGRA et l'Andra et désormais dirigé par une autorité fédérale suisse. Le laboratoire présente des objectifs méthodologiques. Il permet à la Nagra de qualifier l'argile à Opalinus (roche-hôte potentielle), et à l'Andra de préparer ses équipes à la caractérisation de l'argile du Callovo-Oxfordien.

Au Mont Terri une centaine d'expériences d'inégale importance ont été réalisées depuis le début du programme de recherche et une trentaine sont encore en cours en 2009. Dans un matériau argileux préalablement peu étudié, des méthodes de caractérisation de la roche ont été établies. Ainsi, en lien

²⁹ 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.

avec la sûreté, la diffusion des radionucléides dans l'argile a été mesurée, la collecte des eaux contenues dans la roche a été réalisée. Une extension du laboratoire a encore été creusée en 2008. 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 (dans des milieux géologiques sédimentaire et cristallin) avec des objectifs purement méthodologiques. A Horonobé dans l'île nord d'Hokkaido deux puits sont en cours de creusement qui, en mars 2009, atteignent 250m et 140m sur les 500m prévus. Sur le site de Mizunami dans l'île centrale de Honchu deux puits sont creusés dans le milieu cristallin qui en mars 2009 atteignent 300m de profondeur sur les 1000m prévus.

En Allemagne, après les expérimentations des années 1990 dans l'ancienne mine de sel d'Asse, le site de Gorleben (dôme de sel vierge) a été à son tour caractérisé. Quand bien même les autorisations n'avaient pas été données, les électriciens considéraient comme acquise sa qualification en futur site de stockage. L'objectif consistait alors à en préciser les concepts et l'ingénierie. A titre d'exemple, le site de Gorleben a été excavé en prenant en compte un dimensionnement de stockage. Cette approche d'anticipation est à l'origine de nombreuses difficultés sociopolitiques expliquant en partie le retard de Konrad et l'incertitude sur l'autorisation future de Gorleben.

Aux États-Unis une demande d'autorisation a été déposée en juin 2008 pour le stockage des combustibles usés en roche volcanique à Yucca Mountain. Elle est en cours d'évaluation. Les nouvelles expérimentations ont été suspendues en janvier 2008 suite à la pression budgétaire imposée au projet. En février 2009, une nouvelle pression budgétaire a affecté l'ensemble des études en relation avec Yucca Mountain. Le projet, avec les recherches qui en dépendent, fait l'objet d'une remise en cause politique par l'État fédéral qui vise à redéfinir la stratégie de stockage des déchets radioactifs et des combustibles usés.

III.3. LES RECHERCHES COORDONNÉES EN EUROPE

Ces recherches s'inscrivent dans le cadre des PCRD soutenus financièrement par la Commission Européenne. Le 12 novembre 2009, une plateforme technologique a été mise en place 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 (Implementing Geological Disposal Technology Platform), pilotée par les organismes chargés des projets de stockage géologique dans les pays européens, réunit aussi les organismes de recherches, les bureaux d'études, les organismes en soutien technique des autorités de sûreté (TSOs) ainsi que l'ensemble des acteurs intéressés ou impliqués dans les programmes de recherches. Un document de vision a été édité à l'occasion du lancement de la plateforme avec comme cadre « la mise en service des premiers stockages géologiques d'ici 2025 ». Les années 2010 et 2011 seront surtout consacrées à l'élaboration d'un agenda stratégique de recherches (SRA) recensant et hiérarchisant les besoins de RD&D, et d'un plan de développement pour sa mise en œuvre. Les projets soutenus financièrement par la Commission Européenne devraient s'appuyer sur les priorités exprimées par la plateforme.

III.3.a. Transfert de gaz

La mise en place du projet européen FORGE a fédéré les efforts des principaux acteurs à l'échelle européenne sur la problématique de l'effet des gaz produits dans les stockages de déchets radioactifs.

Elle a permis de produire une synthèse préalable de l'état des connaissances et de définir des actions mutualisées. Ce projet comporte un volet expérimental impliquant les quatre laboratoires souterrains d'expérimentation d'Äspö (SKB) avec l'expérience en cours LASGIT, du Mont-Terri, de Mol (Ondraf) et de Bure (Andra). L'activité de modélisation accompagne l'expérimentation. FORGE a été lancé fin 2008 pour une durée de 4 ans.

III.3.b. Colis

La participation au projet européen MICADO permet de suivre les travaux des homologues sur les combustibles usés. Des représentants d'organismes de recherche et des autorités de sûreté de plusieurs pays y échangent sur les modèles de termes sources proposés à l'international pour décrire le comportement à long terme des combustibles usés. Une base commune de données

expérimentales a été établie. Des conclusions sont attendues sur les exercices d'inter-comparaison des modèles déjà réalisés à partir de cette base de données. Par ailleurs, un point est fait sur les incertitudes associées aux paramètres d'entrée des modèles.

III.3.c. Transfert des radionucléides

Le projet européen 'Funmig' s'est terminé fin 2008. Il aura permis d'établir un dossier de connaissance enrichi sur la compréhension des processus et phénomènes gouvernant la migration de radionucléides aussi bien anioniques que cationiques dans des formations argileuses (Callovo-Oxfordien, argiles à Opalinus, argile de Boom). Il a conduit à la réalisation d'un modèle unique de diffusion et transfert d'ions monovalents, comme le ^{137}Cs ou le ^{36}Cl , dans l'argilite ou la bentonite.

III.3.d. Observation et de la surveillance

L'observation surveillance (« monitoring ») du stockage géologique est un thème rassemblant l'intérêt des partenaires internationaux. Un travail de collaboration, "EC Thematic Network on Monitoring", a été mené dans le cadre du 5ème PCRD. Il a permis de conclure que, bien que chaque pays soit responsable d'adapter l'approche et les ambitions du monitoring au contexte national (réglementation, attentes des parties prenantes, stratégie de la gestion du stockage), le monitoring est une thématique à développer.

En 2008, l'Andra a piloté la mise en place d'un nouveau programme d'études, MoDeRn destiné à partager parmi les différentes équipes les réflexions et développement en matière de surveillance. Par ailleurs, des partenaires non européens, RWMC (Japon), le DOE (US) et NWMO et AECL (Canada) ont exprimé leur intérêt à être associés à ce projet prévu sur une durée de quatre années, de 2009 à 2012.

III.3.e. Processus physiques et géochimiques en champ proche

Le projet européen intégré "NF-PRO" (Understanding physical and numerical modelling of key processes in the near-field, and their coupling, for different host rocks and repository strategies) étudie avec une précision accrue les processus physiques et géochimiques affectant le champ proche d'un stockage souterrain de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue en vue de comprendre leurs couplages et de les introduire dans les simulations numériques nécessaires aux évaluations de performance et de sûreté du stockage. Le programme NF-PRO s'est terminé fin 2008. Les études expérimentales et les modélisations ont apporté des résultats et une nouvelle compréhension des processus affectant les performances d'ensemble du champ proche. NF-PRO a un impact stratégique majeur en Europe dans la mesure où le projet a permis de renforcer les fondements scientifiques et techniques nécessaires aux stockages géologiques.

III.3.f. Ingénierie pour le stockage souterrain

Le projet européen intégré d'études d'ingénierie pour le stockage souterrain de déchets radioactifs de haute activité ESDRED (Engineering Studies and Demonstrations of Repository Designs) est réalisé au sein du 6ème Programme cadre de l'Union européenne (2004-2009). Il est coordonné par l'Andra et regroupe treize partenaires de neuf pays européens.

L'objectif du projet est de démontrer, avec des prototypes réalisés à échelle industrielle, la faisabilité technique des différentes opérations de construction, exploitation et fermeture d'un stockage géologique profond.

Dans ce cadre, plusieurs démonstrateurs ont été développés et testés, parmi lesquels le remblayage de galeries à l'aide de bentonite, le transfert de charges lourdes sur coussin d'eau et sur coussin d'air, la manipulation de colis de déchets vitrifiés à l'aide d'un robot pousseur, permettant également le retrait des colis afin de satisfaire aux exigences de réversibilité. Les démonstrateurs sont exposés par chacun des participants. L'Andra pour sa part les présente dans le bâtiment dédié sur le site de Saudron, le CTe (Centre Technique expérimental).

III.3.g. Méthodologie pour l'évaluation de sûreté

Le projet européen intégré PAMINA (Performance Assessment Methodologies in Application to Guide the Development of the Safety Case) rassemble 25 partenaires de 10 pays européens pendant trois ans jusqu'en septembre 2009. Il consiste à fournir une vision très complète des méthodes, des outils et des pratiques en matière d'évaluation de sûreté. Il cherche à établir un cadre et une méthodologie pour traiter les incertitudes qui apparaissent au cours des évaluations de performance et dans les argumentaires de sûreté. Il développe des méthodes dans des domaines concrets qui se posent pour l'étude des milieux géologiques granitiques, argileux et salins. Il prévoit de présenter un état de l'art

des méthodes d'évaluation de sûreté et de fournir les résultats technico scientifiques tirés des programmes nationaux de gestion des déchets radioactifs.

III.3.h. Gestion des déchets graphites

Piloté par FZH (Forschungszentrum Juelich GmbH) en Allemagne, le projet européen Carbowaste a été défini au sein du 7^{ème} programme-cadre de recherche et développement de l'Union européenne. Lancé en 2008 pour une durée de quatre ans, il regroupe 28 organismes.

L'objectif de ce projet est de mieux gérer les déchets de graphites issus du démantèlement des premiers réacteurs de centrale nucléaire de première génération appelés "Uranium naturel – graphite – gaz" (ou UNGG) ou ceux à tubes de force (RBMK). Il vise à préciser les caractéristiques des graphites irradiés avec leurs contaminants, et leurs propriétés en vue de déterminer l'impact sur les différentes phases : retrait, traitement, conditionnement, transport, entreposage et stockage.

III.3.i. Evolution de la biosphère

Le projet Européen BIOCLIM (Modeling sequential biosphere systems under climate change for radioactive waste disposal), coordonné par l'Andra, a rassemblé 12 partenaires de 6 pays européens. Ce projet, qui portait sur l'évolution de la biosphère au cours du temps, pour une application dans cinq régions d'Europe (dont le Sud Est du bassin de Paris, région Meuse/Haute-Marne, pour la France), s'est déroulé de 2001 à 2003, dans le cadre du 5^{ème} PCRD.

Son objectif était d'évaluer l'importance, pour le transfert des radionucléides, des transitions entre les différents états de la biosphère qui se succèdent au cours du temps et l'intérêt de considérer les enchaînements entre ces biosphères successives dans les études de sûreté de stockages de déchets à vie longue. Les enchaînements de biosphère étant, par nature, guidés par l'évolution du climat, le projet a comporté un volet dédié à la simulation de l'évolution climatique future. Ces simulations ont permis de disposer des premiers scénarios d'évolution possible du climat au cours du prochain million d'années, en fonction des différentes hypothèses sur les rejets de gaz à effet de serre d'origine humaine.

Les résultats sont présentés dans treize rapports qui donnent une vision complète du travail réalisé et des résultats obtenus.

III.3.j. Stockage géologique régional

Bien que cette position ne soit pas officiellement déclarée, certains pays de l'Union Européenne attendent que le sujet soit traité au niveau communautaire, avec la possibilité d'un site de stockage géologique régional, c'est-à-dire commun à plusieurs pays. Dans ce cadre, il faut noter que le PCRD Euratom de l'Union Européenne a financé les projets SAPIERR 1 et 2 concernant la faisabilité d'un tel stockage géologique partagé. La justification d'une telle installation repose tant sur des critères de coûts, notamment pour les pays avec un parc nucléaire de quelques unités, que de sûreté, mais pose le problème du pays d'implantation en terme sociopolitique.

III.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.

III.4.a. La réversibilité

Le sujet de la réversibilité du stockage est apparu dans le cadre du stockage géologique et semble devenir un thème de débat pour l'acceptation par les collectivités locales et le public.

A ce titre, cette demande récente n'apparaît que dans les pays qui soit ont des programmes avancés avec des collectivités locales concernées par un site futur (Suède, Finlande, USA), soit reprennent le processus de recherche de site à son stade initial dans le cadre de débats (Canada, Royaume-Uni).

En Allemagne et en Belgique, le sujet n'est pas d'actualité pour le stockage et les organismes impliqués ne le mentionnent pas. A noter que dans ces deux cas, les roches-hôtes étudiées (argile plastique de Mol ou dôme de sel de Gorleben) ne sont pas propices à la mise en œuvre technique de la réversibilité.

La pression des collectivités locales importe, comme l'a montré le projet de stockage de surface de déchets FMA-VC de Dessel en Belgique où l'exigence de réversibilité a été imposée par ces mêmes collectivités locales d'accueil à l'opérateur belge ONDRAF.

Au plan international l'AEN/OCDE soutient une proposition française de définition d'une échelle de réversibilité développée pour le stockage géologique. Cette échelle est un outil de communication afin que les parties prenantes puissent dialoguer sur une base claire et partagée.

L'AEN a constitué un groupe de travail sur la réversibilité ; il regroupe de nombreux pays dont l'Allemagne, la Belgique, le Canada, l'Espagne, les États-Unis, le Japon... L'AIEA a aussi décidé de participer à ce travail. Une conférence internationale est prévue en 2010 en France sur ce thème.

III.4.b. Le Projet AEN 'Sorpton III', sur la sorption des radionucléides

Le projet SORPTION III va permettre, à l'échéance de 2010, la publication d'un document donnant une vue partagée des bonnes pratiques pour l'utilisation de modèles thermodynamiques destinés à justifier la manière dont la sorption des radionucléides est prise en compte dans les modèles et donc dans les dossiers de sûreté. Ce cadre méthodologique est développé par un ensemble d'experts internationaux, dont l'expérience repose sur diverses applications depuis les sols pollués jusqu'aux études de stockage.

III.4.c. Base de données sur le comportement des radionucléides

Le projet TDB (amélioration des bases de données thermodynamiques) est financé à ce jour par 14 agences en charge de la gestion des déchets radioactifs ou organismes de recherche dans ce domaine d'activité. Ce projet se développera jusqu'en 2011. Actuellement, les travaux consistent à finaliser les revues pour certains éléments, Fe (1ère partie), Th, Sn, et à initier les études pour d'autres, à savoir Fe (2ème partie), Mo. Ils réalisent la mise à jour des données auxiliaires associées aux milieux naturels et des éléments traités précédemment dans le projet, dont en premier lieu les actinides. Un workshop en 2009 dressera un bilan du projet et des besoins des utilisateurs.

IV. Les recherches sur la séparation-transmutation

La séparation et la transmutation des actinides mineurs constituent une voie de recherche largement développée, donnant lieu à de nombreux concepts et procédés dans divers pays, essentiellement en vue de réduire la radiotoxicité à long terme des déchets nucléaires, et souvent en relation avec l'étude de systèmes nucléaires de 4ème génération (notamment au Japon et aux États-Unis). L'analyse de ces divers développements révèle des similitudes dans les approches et les concepts envisagés et, bien évidemment, des options différentes dans la manière de les mettre en œuvre.

IV.1. Séparation des actinides mineurs

On distingue les développements menés en continuité de l'"existant" (c'est-à-dire en aval de procédés récupérant uranium et plutonium, qui eux-mêmes font l'objet de R&D), des recherches visant à une récupération groupée de l'ensemble des transuraniens (en aval d'une étape initiale de récupération de l'essentiel de l'uranium).

Pour les premiers, les études menées en EUROPE (projets EUROPART, ACSEPT) au JAPON (concept NEXT) , et plus récemment aux USA (concepts UREX+) font appel à des systèmes extractants certes différents (fruits d'une recherche amont nationale, laquelle a été foisonnante ces dernières décennies), mais dont les fonctionnalités sont homologues, et que l'on peut apparenter aux procédés développés en France pour la "séparation poussée" (diamides, acides alkylphosphoriques, complexants sélectifs des actinides,...). Le procédé envisagé comporte le plus souvent deux étapes, la première visant à coextraire actinides et lanthanides, la seconde à séparer les deux groupes.

La séparation groupée a été étudiée aux États-Unis et notamment par ANL (Argonne National Laboratory) : c'est le concept UREX, apparenté au concept français GANEX, dans lequel on cherche à extraire en premier lieu l'uranium sans le plutonium, lequel est géré ensuite avec les autres actinides dans des opérations de séparation des produits de fission en aval.

L'ensemble de ces recherches, en est aujourd'hui au stade des essais à l'échelle du laboratoire, portant sur quelques centaines de grammes à de l'ordre du kilogramme de combustible ; la recherche

amont, pour mettre au point de nouvelles architectures moléculaires, reste très soutenue. Les développements technologiques associés à la mise en œuvre de tels procédés restent très limités, et on note des études à caractère prospectif sur des dispositifs originaux d'extraction en milieu supercritique ou d'échangeurs sur support solide.

Les concepts ne faisant pas appel à l'hydrométallurgie ne font pas l'objet de développements significatifs, à l'exception des procédés dits "pyrochimiques" (mettant en œuvre une mise en solution des éléments dans des sels fondus à haute température), en général associés à un combustible métallique ou (notamment dans le cas des ADS) un combustible aux caractéristiques très particulières. Les recherches dans ce domaine sont très actives, mais les expérimentations restent à l'échelle du laboratoire et n'ont pour l'instant pas donné lieu à des expérimentations d'ampleur équivalente à celles menées sur les concepts hydrométallurgiques (y compris dans des états tels que la Russie, qui a mené avec succès par le passé des développements à une échelle significative pour le traitement de combustibles oxydes par voie pyrométallurgique).

La conversion sous forme de combustibles ou cibles des actinides récupérés est également objet de recherches et mise au point de procédés : on reste là encore à l'échelle du laboratoire, à l'échelle de production pour les besoins des irradiations expérimentales de quelques pastilles ou aiguilles, ne mettant généralement en œuvre que l'américium (sans curium) ; à côté de la voie de la précipitation-calcination, sont également étudiées, mais à un stade très préliminaire, des concepts plus innovants (dénitration directe, procédés sol-gel, ...).

IV.2. Transmutation des actinides mineurs

IV.2.a. Transmutation en réacteurs critiques

Les études sur la transmutation conduites à l'international sur les systèmes de 4^{ème} génération concernent essentiellement les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium. Elles comportent deux volets : des études sur les performances de transmutation des actinides mineurs en réacteur et le développement et la qualification des combustibles de transmutation associés. Elles concernent plus majoritairement le mode de recyclage homogène, mais le concept de "couvertures chargées" suscite un intérêt marqué.

En Europe le projet coordonné européen ESFR, pour European Sodium Fast Reactor, cherche à répondre à des questions de faisabilité concernant le développement d'un RNR-Na de 4^{ème} génération. C'est la contribution de l'Europe au programme GEN IV sur le système RNR-Na.

Ce projet prévoit en particulier :

- la proposition de cœurs aux caractéristiques optimisées (effets en réactivité, comportement naturel favorable, dispositions pour limiter les conséquences des accidents graves). Ces études d'optimisation seront réalisées sur des cœurs avec un combustible oxyde mais aussi avec un combustible carbure. Ces études (papier) sont à très forte composante neutronique et intègrent la question de l'impact du recyclage des actinides mineurs sur les caractéristiques du cœur.
- la fabrication et la détermination des propriétés physiques de combustibles chargés en actinides mineurs (oxyde, nitrure et carbure). Ce second volet est essentiellement expérimental. Plus précisément, si l'on dispose de données sur la fabricabilité d'oxydes contenant des AM, on ne sait rien pour les nitrures et les carbures. Par ailleurs, il est prévu de fabriquer des échantillons représentatifs du mode de recyclage hétérogène sur support UO₂ et de procéder sur ces échantillons à des mesures de propriétés physiques.

D'autres programmes européens, basés sur des " irradiations analytiques", visent à maîtriser le comportement de l'He produit sous irradiation dans des combustibles ou cibles à forte teneur en actinides mineurs (irradiation Marios dans HFR).

Au-delà, dans le cadre du programme GEN IV sur le 'système' RNR-Na, le projet GACID, qui implique les Etats-Unis, la France et le Japon, concerne le recyclage des actinides mineurs en mode homogène et a pour objectif la démonstration à une échelle significative de ce type de recyclage (de plusieurs aiguilles jusqu'à un assemblage entier) dans MONJU. Les examens destructifs de

l'irradiation Am-1 réalisée dans JOYO sont en cours et apportent des données précieuses pour la modélisation du comportement du combustible en début de vie.

Les Etats-Unis, développent (programme AFCI) un programme d'irradiations plutôt centré sur le mode de recyclage homogène dans le réacteur ATR, de combustibles métallique (AFC-2A et B) et oxyde (AFC-2C et D) avec un objectif de porter rapidement à fort taux de combustion de petits échantillons. Les matrices métalliques sont également un sujet d'intérêt ; une collaboration entre le CRIEPI et l'ITU, avec le support du CEA a permis la réalisation dans Phénix de l'irradiation METAPHIX représentative du recyclage en mode homogène des actinides mineurs dans du combustible métallique.

Le projet Advanced Fuels dans Gen IV a d'ailleurs pour objectif la sélection du 'meilleur' combustible avancé (composé fissile, matériaux de gaine et de tube hexagonal) capable de très forts taux de combustion et doses neutroniques. Pour le combustible, les candidats sont l'oxyde, le nitrure, le métal et le carbure.

IV.2.b. La transmutation en systèmes dédiés (ADS)

Plusieurs pays travaillent aujourd'hui activement sur les ADS (Accelerator Driven System). D'une part l'Europe, au travers de plusieurs projets des programmes cadres de la Commission européenne, et d'autre part le Japon principalement.

En Europe, le projet du 6ème PCRD EUROTRANS fédère l'essentiel des études sur le système ADS et son combustible chargé en actinides mineurs. Ce projet de grande taille, qui a été prolongé d'un an jusqu'en mars 2010, rassemble 33 organismes de 14 pays plus un groupement de 18 universités. En 2010 plusieurs résultats importants du projet seront disponibles : les premiers designs cohérents d'un ADS avec les performances, la sûreté et une évaluation économique, la gestion opérationnelle du couplage d'un accélérateur avec un massif sous-critique, deux combustibles aptes à la transmutation, les principes de la technologie du plomb en réacteur.

Plusieurs autres projets européens contribuent aux études sur les ADS :

- PATEROS sur les performances d'un parc de réacteurs incluant des ADS pour la gestion des déchets. Le projet est terminé et les études montrent que les RNR et les ADS ont des performances équivalentes.
- VELLA sur la technologie du plomb-bismuth liquide. Le projet, qui se termine fin 2009, aura permis de coordonner les activités des laboratoires européens sur le sujet.
- MEGAPIE sur la fabrication et le fonctionnement d'une cible de spallation de 1 MW au plomb-bismuth. La cible a été irradiée avec succès quatre mois en Suisse fin 2006. Les examens après irradiation sont en cours. Le Paul Scherrer Institut propose de développer une nouvelle cible à caractère plus industriel.
- FAIRFUELS, du 7ème PCRD, sur les combustibles chargés en actinides sur support inerte, vient de débuter et complète les irradiations et les examens engagés dans EUROTRANS.
- CDT, qui vient également de débuter, réalisera l'avant projet de l'installation MYRRHA, un petit démonstrateur d'ADS au Pb-Bi prévu par le centre de MOL en Belgique.

Enfin l'installation GUINEVERE, maquette à puissance nulle, toujours à MOL, devrait fournir les moyens d'un pilotage précis d'un accélérateur de protons avec un massif sous critique.

Le Japon possède son propre programme d'étude des ADS. Le JAEA utilise deux petites installations avec un accélérateur de protons et une cible de spallation. Au-delà il prévoit, dans un cadre international, de relier le Linac de son centre de recherche J-PARC à une cible de spallation en mercure et un massif sous critique en combustible MOX chargé à 5% d'actinides mineurs. De son côté, l'Université de Kyoto réalise des expériences de physique avec un accélérateur et une cible solide et prévoit au delà un programme important sur une installation sous-critique à puissance nulle.

Annexe : Analyse détaillée de l'adéquation entre capacités d'entreposage et 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 marginalement les colis CSD-B à venir) 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 passe sous 2 000 watts.

R7 et T7 ont été mis en service respectivement en 1989 et 1992 pour une durée d'exploitation prévisionnelle de 50 ans. E-EV-SE est opérationnel depuis 1996, sa cessation définitive d'exploitation n'est pas envisagée avant 2040.

A fin 2007, 1 200 colis CSD-V environ soit³⁰ 210 m³, étaient entreposés dans E-EV-SE, en attente d'expédition vers les installations des clients étrangers d'AREVA. Selon les conditions industrielles et contractuelles, les expéditions devraient être achevées pour l'essentiel en 2015 et complètement en 2025.

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 140 m³ (800 colis) jusqu'en 2027, sera portée à 210 m³ (1 180 colis) à partir de 2028, avec le début du traitement en dilution dans les combustibles UOX et URE, des 2 900 tML de combustibles MOX qui auront été accumulés à cette date.

Les trois installations d'entreposage : R7, T7 et E-EV-SE, ont une capacité cumulée de 2 174 m³ qui sera saturée vers 2013. AREVA a entrepris en 2006 l'étude et la réalisation d'une extension³¹ d'E-EV-SE qui sera opérationnelle en 2012 et qui portera la capacité à 3 648 m³.

D'autres capacités similaires seront nécessaires à partir de 2022 (voir la section 3.1.2). 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 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 (filière HA) et effluents des rinçages des circuits de l'usine UP1 en cessation définitive d'exploitation (filière MAVL) y sont entreposés avec des colis de déchets technologiques d'exploitation de l'AVM (filière MAVL) auxquels pourraient s'ajouter des colis de déchets vitrifiés produits en très faible nombre dans les laboratoires d'Atalante. La capacité³² de l'entrepôt de l'AVM (665 m³) est suffisante pour accueillir l'ensemble des productions prévues à Marcoule. L'instruction du réexamen de sûreté de l'installation d'entreposage de l'atelier de vitrification de Marcoule a conduit le DSND à demander des compléments de démonstration au CEA pour statuer sur la pérennité de cet entreposage jusqu'à la fin de reprise des colis pour leur mise en stockage géologique profond.

Une interface d'expédition des colis entreposés vers le centre de stockage devra être développée par le CEA, en tenant compte des possibilités techniques en matière de transport, des besoins prévisionnels en contrôles et en reconditionnement en vue du stockage, et des possibilités de mise en stockage dans le temps. 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

³⁰ Les volumes de colis sont estimés ici à partir du volume unitaire considéré dans l'Inventaire national, soit 175 litres pour le CSD-V.

³¹ Extension de l'entreposage des verres de La Hague : « EEVLH »

³² La capacité indiquée correspond au volume unitaire de 175 litres par conteneur considéré dans l'Inventaire national.

de la présentation de scénarios entreposage-transport-stockage au prochain débat public sur le projet de centre de stockage géologique profond.

L'atelier pilote de vitrification de Marcoule : PIVER a produit une petite quantité de colis de déchets vitrifiés (filière HA) d'un volume total de 11 m³ qui sont actuellement entreposés dans le bâtiment 213, spécialement aménagé dans l'atelier pilote de Marcoule (APM). Il a été mis en service en 1969 et est aujourd'hui prévu de fonctionner cinquante ans. Une prolongation est envisageable ; elle permettrait d'y conserver les colis PIVER jusqu'à leur contrôle et expédition vers le centre de stockage.

L'entreposage des combustibles usés destinés au stockage, sans traitement préalable

Les combustibles usés à base d'uranium métal utilisés sur certains réacteurs de la filière uranium naturel, graphite, gaz ou à eau lourde EL2 et EL3, les combustibles à base d'oxyde d'uranium qui ont été retirés du réacteur à eau lourde EL4 de Brennilis (Finistère), ou utilisés pour des expériences ou encore soumis à des expertises après séjour dans des réacteurs à neutrons rapides : RAPSODIE, PHENIX, à eau pressurisée ou de recherche CABRI, MELUSINE, PHEBUS, PFR, SCARABEE, SILOE, ORPHEE, enfin des combustibles du type « caramel » du réacteur OSIRIS, ne seront pas traités et sont destinés au stockage, après conditionnement.

A Cadarache, ces combustibles sont progressivement placés sous étuis métalliques dans l'atelier STAR et sont entreposés dans l'installation CASCAD qui a été mise en service en 1990, pour une durée d'exploitation prévisionnelle de 50 ans.

La partie réservée à ces combustibles dans l'installation CASCAD a une capacité de 4 770 colis. Le volume total des colis de combustibles usés déjà conditionnés représente environ 51,5 m³ (3 090 colis). En 2030, ce conditionnement sera achevé et le volume total sera de 74 m³ (4 374 colis). Sur la base des données aujourd'hui disponibles, la capacité de CASCAD apparaît suffisante pour répondre aux besoins d'entreposage de ces combustibles non traités jusqu'à sa cessation définitive d'exploitation (CDE).

L'entreposage des déchets de structure compactés de La Hague

Depuis 2002, les déchets de structure (coques et embouts) des assemblages 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.

Sur le site de La Hague, les colis CSD-C sont placés dans l'installation d'entreposage des coques compactées : ECC qui a été mise en service en 2002 en même temps que l'ACC, pour une durée d'exploitation prévisionnelle de 50 ans.

A la fin 2007, un volume³³ de 600 m³ de colis CSD-C (3 270 colis environ) a été produit en application des contrats avec des clients étrangers. A leur achèvement, la production devrait s'établir à 1 280 m³ (7 000 colis CSD-C environ). A l'heure actuelle tous les colis produits sont entreposés dans ECC. Les expéditions vers les installations des clients étrangers doivent commencer en 2009 et se prolonger au-delà de 2015.

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 de 3 135 m³. ECC a une capacité de 3 806 m³, suffisante à cette échéance, pour accueillir les colis CSD-C relevant des parts françaises et étrangères. Sa conception est modulaire avec une réserve foncière qui permettrait si nécessaire de construire, jusqu'à 6 modules équivalents au module existant. La saturation devrait intervenir à l'horizon 2025.

Par la suite la production des colis de coques et embouts compactés sera augmentée avec le début du traitement des combustibles MOX accumulés, en dilution avec des combustibles UOX et URE.

Une mise en stockage des colis CSD-C à partir de la mise en exploitation du centre de stockage géologique profond permettrait en principe d'optimiser la capacité d'une extension de l'installation ECC (voir la section 3.1.2). 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 au stockage des colis.

³³ Les volumes et capacités indiqués correspondent au volume unitaire de 183 litres par CSD-C considéré dans l'Inventaire national.

L'entreposage des colis de boues et des déchets technologiques alpha métalliques et organiques 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. Ces colis occupent actuellement un volume de 2 600 m³ environ. Ils sont entreposés dans les halls d'une capacité de 4 760 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. Un petit nombre sera retourné à des clients étrangers d'AREVA, dans le cadre des contrats signés dans la décennie 1980.

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 interrompue et AREVA étudie un conditionnement alternatif.

A partir de 2013, AREVA envisage de conditionner à La Hague des déchets technologiques alpha (contaminés essentiellement par du plutonium) des usines de La Hague et de l'usine MELOX de Marcoule : métaux, verrerie et matériaux organiques. L'hypothèse de conditionnement envisagée par AREVA est un compactage et une mise en conteneur métallique. La production est prévue jusqu'au démantèlement des usines, au-delà de 2040.

En 2020, le volume déjà produit de 2 600 m³ environ sera accru par les colis de boues de STE2 produits par le procédé alternatif et par les colis de déchets technologiques alpha. Il atteindra un total estimé à 6 090 m³.

Les capacités d'entreposage supplémentaires nécessaires seront apportées par les unités de désentreposage et d'extension de l'entreposage des fûts de bitume D/E – EB, du bâtiment ES qui ont été construites en 1995 pour une exploitation prévue jusqu'en 2040. Cette installation, située dans le prolongement du bâtiment S, a une capacité de 6 426 m³.

En 2030, la capacité totale des bâtiments S et ES qui est de 11 186 m³ sera en principe suffisante pour entreposer les productions des colis précédents dont le volume total atteindra 9 533 m³.

Les colis de boues et de déchets technologiques alpha conditionnés à la Hague ne généreront donc pas de besoin de capacité nouvelle d'entreposage avant 2040 si le compactage des déchets alpha est effectué. S'il est envisageable de mettre en stockage les colis de boues bitumées à cet horizon, des colis de déchets alpha compactés devraient probablement encore attendre en entreposage la décroissance de leur production d'hydrogène de radiolyse, dans une seconde génération d'installation qui serait alors à créer (voir la section 3.1.2).

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 et MELOX 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 de fibres (CBFC'2).

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 retirés 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 14 331 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 11 125 m³ en 2030.

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 avec un conditionnement dans des fûts en acier de 230 litres. De

1966 à 1996, les fûts étaient en acier non allié et 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 (254 000 fûts environ auxquels se rajoutent les 2200 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 (volume interne du conteneur). La reprise se poursuit avec les fûts anciens des casemates 1 à 4 de la zone Sud. En parallèle, pour répondre aux demandes du DSND, est mise en œuvre la reprise des fûts de relargage (fûts de procédé d'enrobage de type MAVC, entreposés en mélange avec les fûts d'enrobé bitume dans les casemates 1 à 10, considéré comme le terme source).

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. A cette date, il est prévu que les fûts de boues bitumées rattachés à la filière MAVL représenteront un volume de 518 m³.

A des échéances qui s'échelonnent de 2017 à 2020, commenceront la reprise et le conditionnement des déchets suivants :

- 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 2014 (projet STEMA). Les colis de déchets constitués (fûts de 380 litres) de type FMA.VC en grande majorité, seront conditionnés au CDS avant expédition au CSFMA.VC. 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 alvéoles³⁴. La durée d'exploitation aujourd'hui prévue est de 50 ans.

Actuellement, les colis entreposés dans l'EIP sont les fûts de boues bitumées produites par la STEL avant 1996, retirés des fosses de la zone nord et de la casemate 1, et reconditionnés en fûts de 380 litres. Ils représentent un volume³⁵ de 2 660 m³ (7 000 colis environ).

La poursuite de la reprise des déchets des casemates et leur mise en fûts de 380 litres conduira à avoir saturé la capacité actuelle de l'EIP à l'horizon 2016, avec un volume de 4 370 m³, soit 11 500 colis (rattachés aux filières MAVL et FAVL). Une nouvelle capacité devra alors être mise en service pour permettre la poursuite du programme de reprise.

Si de nouveaux modules EIP sont construits, les colis de déchets de boues bitumées et de déchets cimentés représenteraient en 2025 un volume total de l'ordre de 9 000 m³. A partir de cette date, le volume des déchets entreposés à l'EIP pourrait se stabiliser si le flux d'expédition, vers le stockage, atteignait environ 800 m³ par an. Le désentreposage serait envisagé dès 2038 jusqu'à 2050.

L'étude d'une autre stratégie, plus favorable au plan de la gestion de la ressource de stockage, est présentée à la section 3.1.2.

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 généreront 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

³⁴ Son extension peut être envisagée, jusqu'à 16 alvéoles pour porter la capacité totale à 33 880 m³.

³⁵ 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.

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 253 m³ environ. Pour répondre à ce besoin, le CEA a prévu de créer l'installation DIADEM, qui sera mise en service en 2014 (voir la section 3.1.2). De plus, cette nouvelle installation permettra l'entreposage de déchets hautement irradiants en provenance d'autres sites du CEA (Fontenay, Saclay, Grenoble).

L'entreposage des colis de déchets faiblement irradiants sur le site de Cadarache

Depuis 1970, la station de traitement des effluents : STE de l'INB 37, conditionne les boues de filtration et les concentrats d'évaporation du centre, par cimentation dans des conteneurs en béton de 500 litres. Episodiquement ce conditionnement a été réalisé en fûts de 700 litres, qui ont été reconditionnés en conteneur en acier non allié de 870 litres. En 2012, la STE sera remplacée par l'atelier de gestion avancée et de traitements des effluents : AGATE.

Les déchets solides d'exploitation ou de démantèlement, provenant des sites de Saclay, Fontenay-aux-Roses, Valduc et Grenoble sont conditionnés à la station de compactage - cimentation de l'INB 37. Le tri permet de conditionner par compactage et blocage en conteneur métalliques de 870 litres, des déchets à spectre alpha ou bêta – gamma faiblement irradiants. A partir de 2017, le même conditionnement sera utilisé pour des déchets solides de démantèlement à spectre alpha, provenant de Marcoule.

Tous les colis précédents sont faiblement irradiants (FI) et représentent en 2009 un volume cumulé de 7 940 m³ qui sera porté à 8 350 m³ en 2030.

Jusqu'en 2006, les colis MAVL étaient placés pour entreposage dans l'INB 56, qui n'accueille plus aujourd'hui de nouveaux colis.

En 2006, le CEA a mis en service à Cadarache les installations de conditionnement et d'entreposage de déchets radioactifs CEDRA : deux nouveaux bâtiments n° 374 et 375 offrent ainsi une capacité de 4 450 m³ pour les colis de déchets FI.

Le CEA a programmé le retrait des colis MAVL FI de l'INB 56 pour tri et entreposage dans CEDRA.

Fin 2008, le volume occupé dans CEDRA était de 533 m³. La capacité d'entreposage FI actuelle de 4 450 m³ ne suffira pas à gérer l'ensemble des colis à produire ou à retirer de l'INB 56. En effet le volume cumulé de déchets FI à l'horizon 2030 est estimé à 8 300 m³ environ. Aussi le CEA envisage de porter la capacité d'entreposage FI de CEDRA à 8 800 m³, par la construction de la tranche 3.

Il est à noter que les capacités d'entreposage à réserver sur CEDRA pour les colis anciens retirés de l'INB 56 dépendront de la complexité des contrôles et des reconditionnements qu'il faudra mettre en œuvre et de l'étalement dans le temps des opérations.

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 identifiés par le tri comme moyennement irradiants (MI), sont conditionnés depuis 1970 sur l'INB 37 par blocage dans un conteneur en acier de 500 litres. Jusqu'en 2006 ils étaient placés dans les puits d'entreposage de l'INB 56. Le retrait des colis MAVL MI de l'INB 56 a été programmé par le CEA pour un achèvement en 2018.

Depuis sa mise en exploitation en 2006, l'installation CEDRA comporte le bâtiment n° 376 pour l'entreposage en puits des colis MI nouveaux ou retirés de l'INB 56, d'une capacité de 825 m³.

Au début 2009, le volume cumulé des déchets MI entreposés sur le site de Cadarache était de 1 052 m³. Il atteindra 1 595 m³ en 2030. La capacité actuelle de CEDRA (825 m³) ne suffira pas à répondre aux besoins. Le CEA envisage d'augmenter cette capacité : Après construction de la tranche 3 de CEDRA, elle serait portée à 1 650 m³ ; une tranche 4 supplémentaire permettrait de porter la capacité à 2 350 m³.

L'entreposage d'autres colis de déchets sur le site de Cadarache.

Des colis de sulfates de plomb radifères³⁶, 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. Pour retirer de l'INB 56 ces colis rattachés à la filière MAVL, une nouvelle capacité d'entreposage correspondant à ce volume sera nécessaire³⁷.

³⁶ Ces colis sont issus du traitement entre 1958 et 1970 d'un minerai d'urano-thorianite.

³⁷ Le CEA envisage la construction d'un « bâtiment intermédiaire » en tranche 2 de l'installation CEDRA.

L'entreposage des colis de déchets MAVL sur le site du CEA de Valduc

La station de traitement des effluents liquides de Valduc produit des boues de coprécipitation / filtration et des concentrats. De 1984 jusqu'en 1995 ces déchets ont été cimentés en fûts métalliques de 220 litres rattachés à la filière MAVL. Le volume total des colis MAVL est de 81 m³. Ils sont entreposés sur le site.

Le traitement de matières recyclables produit des effluents contenant de l'américium, du plutonium et de l'uranium que le CEA projette de vitrifier après 2020. Ces colis MAVL seront aussi entreposés sur le site. En 2030 le volume total atteindra 10 m³.

L'entreposage des colis de déchets activés d'EDF sur le site de la centrale du Bugey

A partir de 2014, les déchets activés produits par le démantèlement des réacteurs d'EDF de Creys-Malville, Brennilis, Chooz A, Bugey, Saint-Laurent-des-eaux et Chinon ainsi que les internes retirés des réacteurs électronucléaires en exploitation : grappes de commande et grappes poison seront conditionnés dans l'installation ICEDA qui est en projet sur le site du Bugey.

EDF retient l'hypothèse d'un conditionnement en conteneurs en béton armé « C1PG » pour les déchets activés des filières MAVL ou FMA-VC (éventuellement après décroissance radioactive). En 2020, la part MAVL attendue occupera un volume de 1 711 m³ qui passera en 2030 à 2 551 m³.

ICEDA traitera également des déchets du démantèlement : déchets métalliques de la filière FMA-VC et déchets de graphite de la filière FA-VL.

EDF a prévu de doter l'installation ICEDA de deux halls d'entreposage d'une capacité de 2 000 m³ chacun environ. L'un accueillera jusqu'à 1 000 colis de déchets MAVL et FMA-VC en conteneur C1PG. L'autre est destiné à recevoir dans une première période 300 caissons FMA-VC de 5 m³ et 10 m³ et des colis de déchets de graphite.

Jusqu'en 2020, la capacité d'un hall est suffisante pour accueillir les colis MAVL en conteneur C1PG, sous réserve que le volume des colis de déchets FMA-VC en transit vers le CSFMA, reste inférieur à 250 m³.

En 2030, la capacité du deuxième hall d'entreposage sera en partie utilisée pour les colis MAVL en conteneur C1PG, ce qui signifie à cet horizon une limitation du volume des colis FMA-VC et FA-VL en attente d'expédition vers leur stockage respectif.

L'entreposage de déchets radioactifs divers et radifères

Dans le cadre de la gestion des déchets radioactifs hors du secteur électronucléaire, l'Andra dispose de capacités d'entreposage sur des installations d'AREVA/SOCATRI et du CEA (INB 56 à Cadarache, INB 72 à Saclay) pour les déchets du nucléaire diffus qui relèvent en majeure partie de la filière FA-VL. Ces capacités d'entreposage présentent des limites en termes d'acceptation de types de déchets. Ainsi l'Andra n'est pas en mesure d'entreposer des sources radioactives Ra-Be ni des sources sous forme liquide ou gazeuse, qu'elle ne peut donc pas collecter. Des limites portent aussi sur les délais de prise en charge d'objets irradiants, parfois supérieurs aux besoins. Enfin, les installations du CEA font l'objet de projets de démantèlement. Aussi l'Andra étudie des solutions nouvelles d'entreposage pour la gestion des déchets du nucléaire et pour la collecte et le regroupement des déchets du secteur hospitalo-universitaire (voir la section 3.2.3).

Par ailleurs, des déchets radifères, rattachés à la filière FA-VL, sont entreposés par Rhodia, Cézus et le CEA. Une partie se trouve déjà sous forme conditionnée. L'Andra analysera en concertation avec les exploitants, l'adéquation des capacités d'entreposage disponibles à la vision prospective des déchets et aux possibilités de stockage FA-VL.

Annexe : Volet recherche du PNGMDR

1. Introduction

La loi du 28 Juin 2006 a fixé des objectifs et des jalons. A ce titre, elle est structurante pour les travaux de R&D qui sont menés sur les déchets radioactifs. Ainsi l'année 2008 a été marquée d'une part, par la parution du décret fixant les prescriptions du PNGMDR³⁸, et d'autre part, par les recommandations de la CNE2 relatives aux recherches menées en 2007³⁹.

Le premier document décrit les solutions de gestion développées pour les matières et déchets radioactifs et précise un certain nombre de jalons qui ont rythmé la stratégie des recherches menées durant ces 3 dernières années. Le bilan de ces recherches confirme ces jalons pour les années à venir, sauf en ce qui concerne le projet FAVL (voir chapitres 3.3 et 4.2) pour lequel l'année 2008 a été marquée par l'appel à candidature pour l'accueil d'un site de stockage FAVL. Le second document (recommandations de la CNE2), outre les évaluations des recherches menées, propose certaines orientations pour la stratégie à mettre en œuvre en vue du respect des jalons fixés.

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 et/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 structuré ses recherches autour d'un programme de recherche interdisciplinaire, PACEN (Programme sur l'Aval du Cycle et l'Energie Nucléaire), les Universités, et d'autres organismes comme par exemple le BRGM ou l'INERIS. Enfin, il faut citer l'IRSN, dont les recherches sont de finalité différente. Elles visent d'abord à assurer un niveau d'expertise satisfaisant pour lui permettre de jouer son rôle d'appui technique de l'ASN et du DSND. Les priorités de recherche de l'IRSN pour la période 2009-2012 sont toutefois présentées dans le chapitre 5, à titre d'information.

Afin d'assurer une cohérence entre tous ces programmes, un Comité d'Orientation 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, et dont la DGRI assure le secrétariat, 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.

1.1. Grands jalons structurant la recherche menée dans le cadre du PNGMDR

Les jalons concernant les déchets FAVL précisés par le décret fixant les prescriptions relatives au PNGMDR sont les suivants :

- **31 Décembre 2009 au plus tard** : l'Andra remet aux ministres en charge de l'énergie, et de l'environnement une analyse des sites susceptibles d'accueillir un stockage de « *déchets de graphite et de procédés associés issus du démantèlement des réacteurs uranium naturel - graphite - gaz (UNGG), ainsi que d'autres réacteurs, notamment expérimentaux. Cette analyse s'appuie notamment sur des investigations locales pour évaluer la conformité de ces sites aux critères de choix géologiques et environnementaux* ». Ce stockage doit aussi être conçu pour recevoir « *les déchets radifères dont l'activité massique est telle qu'elle ne permet pas leur stockage en centre de surface.* »
- Conformément aux décisions prises au Comité de l'Energie Atomique du 20 Mai 2008, l'Andra saisira la commission nationale du débat public (CNDP) en vue d'organiser un débat public début 2011, avant le choix du site par le gouvernement. Après ce choix, les études seront poursuivies en vue d'élaborer la demande d'autorisation de création du stockage.

³⁸ Décret n° 2008-357 du 16 Avril 2008

³⁹ Rapport d'évaluation paru en Juin 2008

Concernant les déchets MA et HAVL, les différents jalons sont :

- **31 Décembre 2009 au plus tard** : « L'Andra propose aux ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de l'environnement les études qu'elle propose de mener sur les évolutions possibles en matière d'entreposage des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue. »
- **31 Décembre 2009 au plus tard** : « L'Andra propose aux ministres en charge de l'énergie, de la recherche et de l'environnement
- une zone d'intérêt restreinte propice à l'implantation d'un stockage, sur laquelle seront mises en œuvre des techniques d'exploration approfondies ;
- des options de conception, de sûreté opérationnelle et à long terme et de réversibilité ;
- un modèle d'inventaire des déchets à prendre en compte ;
- des options d'entreposage en complément du stockage. »
- **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 géologique profond.
- **31 Décembre 2014 au plus tard** : « L'Andra dépose la demande d'autorisation de création » d'un site de stockage géologique profond.
- **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. Ce dossier permettra d'évaluer :
 - « a) l'apport du recyclage des actinides mineurs et de leur transmutation par rapport à leur stockage au sein des déchets vitrifiés ;
 - b) les différents modes de recyclage envisageables (hétérogène, homogène) ;
 - c) les filières associées possibles (réacteurs critiques électrogènes de nouvelle génération, réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateurs). »
- « Ce dossier doit permettre de procéder à une évaluation des perspectives industrielles de ces filières et de faire les choix relatifs au prototype d'installation prévu à l'article 3 de la loi du 28 Juin 2006 »⁴⁰.

Par ailleurs, l'évolution fondamentale des prochaines années dans le domaine de l'énergie nucléaire va résider dans la cohérence des choix en matière de cycle du combustible et de réacteurs. A ce titre, il est également utile d'avoir en tête certaines échéances qui si elles ne font pas partie stricto sensu des échéances concernant les déchets radioactifs, sont néanmoins des échéances lourdes pour les réacteurs de 4ème génération et constituent donc indirectement des étapes dans les réflexions sur les déchets.

En ce qui concerne les travaux de R&D sur les réacteurs de 4ème génération, une stratégie a été définie par le Comité de l'énergie atomique du 20 décembre 2006 et a été confirmée par celui du 20 mai 2008. Une première phase d'études se poursuit sur la période 2007-2012.

Après une consolidation prévue en 2009 sur les orientations données, les travaux menés visent à permettre la tenue d'une revue de faisabilité en 2012 devra permettre de faire un bilan dans la perspective d'un choix vis-à-vis de la filière gaz et de la filière sodium (avec quatre éléments principaux dans le dossier 2012 : sûreté, économie, cycle, perspectives industrielles).

1.2. Bilan en juin 2009 des études menées dans le cadre du PNGMDR 2007-2009

a. Recherches sur le conditionnement et le comportement des déchets

Les études relatives à la connaissance du comportement à long terme et à la démonstration des performances du colis dans le mode de gestion à long terme retenu font partie du périmètre des recherches encadrées par la loi du 28 juin 2006. Par contre, hormis le cas de déchets produits avant

⁴⁰ Il s'agit ici du réacteur prototype de génération IV.

2015 et non encore conditionnés, les recherches sur le conditionnement des déchets radioactifs ne sont plus encadrées par cette même loi.

Avec l'objectif commun de disposer de tous les éléments de connaissance nécessaires pour juger de l'acceptabilité des colis de déchets dans une installation de stockage, les producteurs de déchets et l'Andra ont mis en place des structures de pilotage et d'échange permettant de garantir la cohérence de l'ensemble des programmes de R&D qu'ils mènent chacun ou en commun, dans le cadre des responsabilités qui leur sont dévolues. L'organisation de la R&D mise en place suite à la loi du 28 Juin 2006 permet de prendre en compte les nouvelles responsabilités de chacun des acteurs. Elle a acté les responsabilités des producteurs en ce qui concerne la caractérisation des colis et les études sur le comportement intrinsèque des colis, et de celles de l'Andra en ce qui concerne les interactions entre les colis et les matériaux environnants.

Dans son premier rapport de juin 2007, la Commission Nationale d'Evaluation (CNE) avait noté que le conditionnement en ligne des déchets produits actuellement est industriel et qu'il existe des voies pour envisager le conditionnement primaire de tous les déchets. Elle souligne cependant que le conditionnement en colis primaire industriel, élément central de la gestion des déchets, doit continuer à bénéficier d'une attention soutenue.

La vitrification, mise en œuvre avec succès depuis plusieurs décennies 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 fission issues du traitement des combustibles usés (déchets HAVL). Les estimations de performances des verres de type R7T7 en stockage géologique profond s'appuient sur un modèle opérationnel (appelé « modèle V0→Vr »). Des études expérimentales de lixiviation couplées à des techniques fines d'observation ont confirmé que la vitesse résiduelle Vr qui prédomine sur le long terme est contrôlée par deux phénomènes principaux : la diffusion réactive des éléments du verre à travers le gel d'altération et la précipitation de phases secondaires, en particulier de phyllosilicates.

D'autre part, les recherches sur l'effet de l'augmentation de la teneur en actinides dans les verres ont montré le bon comportement du verre sous auto-irradiation alpha avec en particulier aucune modification du verre associée à la génération d'hélium provenant de la décroissance des actinides pour des doses allant au moins jusqu'à 1019 α/g correspondant à la dose intégrée à 10 000 ans. Ce résultat a conduit l'Autorité de sûreté nucléaire à donner fin 2008 l'autorisation de production relative à ce colis permettant ainsi à AREVA-NC de vitrifier l'ensemble des lots de solutions de produits de fission sans augmenter le nombre de colis produits par tonne de combustibles traités.

Plusieurs expérimentations destinées à représenter le comportement du verre en conditions de stockage (interfaces avec l'acier et/ou les argiles) ont été lancées et sont pour certaines d'entre elles en cours de dépouillement.

Enfin, un nouveau procédé de vitrification mettant en œuvre un creuset froid a été mis au point par le CEA. Ce procédé sera testé à l'échelle industrielle par AREVA à la Hague dès la fin 2009, en vue d'une industrialisation en 2010.

Pour les déchets MA-VL, l'hydrogène résultant de la radiolyse des matériaux organiques est le gaz majoritairement relâché par les colis pendant la période d'exploitation du stockage (dossier Andra 2005). Un programme de R&D visant à améliorer les outils de modélisation pour la prévision de la production d'hydrogène et à identifier les productions de molécules hydrosolubles, produits de dégradation des polymères, susceptibles de complexer les radionucléides a été mis en place. Il aboutira à la constitution d'une base de données (PRELOG) sur les données intrinsèques relatives aux polymères qui couplée à la modélisation permettra d'évaluer les rendements de production de gaz à partir des principales données de composition des polymères (formule chimique, charge, additif ...) et du spectre du rayonnement.

b. Recherches sur le stockage en couche géologique profonde

Le Plan de développement du projet décrit le déroulement des études et recherches à mener sur la période 2007-2015 pour répondre aux objectifs fixés par la loi. Il a été présenté en 2007 à l'Office

Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Techniques (OPECST), à la Commission Nationale d'Évaluation (CNE), au Groupe Permanent « Déchets » de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et au Comité Local d'Information et de Consultation (CLIS). Une synthèse de ce document a également été diffusée auprès du grand public. La phase de mise en place du projet HAVL s'est achevée en 2007 avec la finalisation des programmes thématiques, la planification détaillée du projet, la mise en place du cadre contractuel et le démarrage des études.

Les premières données disponibles suite à la campagne de reconnaissance 2007-2008 confortent et précisent le modèle géologique du secteur et confirment les limites et les caractéristiques de la zone de transposition tel qu'ils sont décrits dans le Dossier 2005. Les caractéristiques physico-chimiques de la formation des argilites du Callovo-Oxfordien ne permettent pas, à ce stade, de dégager des critères discriminants pour définir un périmètre pour la Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie (ZIRA). En revanche, certaines caractéristiques géométriques (épaisseur, profondeur, pendage) constituent des éléments objectifs de choix. Si les paramètres de sûreté resteront toujours prioritaires, les critères pour le choix de la ZIRA ont pu être consolidés avec les acteurs locaux avant l'échéance de la fin 2009. Cette ZIRA sera par ailleurs associée à un ou plusieurs scénarios d'implantation en surface.

L'analyse des profils sismiques et les résultats de la campagne de reconnaissance permettent d'améliorer la compréhension du phasage tectonique, et des mouvements des failles associés, depuis le Jurassique jusqu'à nos jours. On a également mieux décrit les différentes phases diagenétiques affectant les encaissants ainsi que leurs conséquences sur les propriétés de transfert. Dans le laboratoire souterrain, outre la préparation de nouvelles expérimentations, une décroissance notable des vitesses de convergence a été observée dans les différents ouvrages.

Les thématiques liées au transfert des radionucléides ont bénéficié de l'apport significatif de connaissances issues du projet européen FunMig, qui s'est achevé fin 2008. On notera en particulier : la mesure de la porosité accessible à différentes molécules, le comportement diffusif des molécules organiques ou la distribution de l'iode dans la formation du Callovo-Oxfordien dans l'optique de définir les capacités de rétention des argilites. Concernant la migration des gaz, on a déterminé des pressions d'entrée de gaz dans les argilites et étudié le comportement du gaz aux interfaces.

Pour ce qui concerne les matériaux, l'évolution de la perméabilité des bétons en fonction de l'état de fissuration et des contraintes appliquées ainsi que la nature des interfaces bétons/argiles et acier/béton ont été étudiées. Parallèlement des travaux sur les vitesses de corrosion en situation de stockage (fluides, environnement argileux...) ont été conduits.

c. Recherches en matière d'entreposage

L'Andra a finalisé en 2007 le programme d'études relatives à l'entreposage. Ce programme s'appuie sur le transfert des connaissances réalisé avec le CEA, conformément au PNGMDR, et sur les recommandations des évaluateurs. Les principaux livrables pour 2009 concernent le recensement des besoins d'entreposage, en lien avec la mise à jour de l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs, et la proposition d'options en matière d'entreposage.

Entre autres grâce à son retour d'expérience, l'Andra a identifié les processus déterminants vis-à-vis de la durabilité des entrepôts et des colis entreposés afin de réaliser au mieux les études d'ingénierie et la programmation des recherches. En particulier, il est maintenant acquis que la durabilité et la robustesse d'un entreposage sur une durée séculaire reposera sur

- la maîtrise et le maintien de l'environnement interne en conditions sèches, via notamment des dispositions de conception liées au traitement de l'air,
- un choix de matériaux adaptés, en particulier des aciers inoxydables pour les zones potentiellement exposées à la corrosion, des formulations spécifiques de bétons pour minimiser la carbonatation atmosphérique,
- des solutions de conception amortissant les différentes sollicitations externes ou internes.

d. Recherches sur le stockage des déchets radifères et graphites

La faible activité massique des déchets radifères et de graphite conduit à rechercher des options de stockage à faible profondeur (i.e. moins de 200 mètres), implantées dans une couche géologique de faible perméabilité avec une composante argileuse ou marneuse dominante. Deux options de conception ont été étudiées et comparées. La première option, dite "stockage en couverture remaniée", consiste à utiliser la technique d'excavation à ciel ouvert pour accéder au niveau du stockage ; après stockage des déchets, la zone de stockage est remblayée avec les déblais du site. La seconde option, dite "stockage en couverture intacte", consiste à utiliser la technique de creusement en sous sol. La seconde option permet au plan technique d'aborder des domaines de plus grande profondeur que la première, et élargit significativement le choix de sites possibles d'implantation.

En l'attente de l'identification d'un site, ces différentes options ont été étudiées sur la base de caractéristiques réalistes de sites génériques, issues d'études bibliographiques.

L'option d'un stockage avec couverture intacte est privilégiée pour les déchets de graphite. En effet, la plus grande épaisseur d'argile de stockage permet de mieux retarder et atténuer le flux des radionucléides susceptibles de remonter à la surface. En ce qui concerne le ^{14}C , il s'agit de préciser d'une part les capacités de rétention des bétons et d'autre part la forme du carbone (organique ou inorganique). Pour le ^{36}Cl , sa migration s'effectue principalement par diffusion et sa dispersion et son étalement dans le temps seront assurés par l'épaisseur de la couche de stockage.

Pour les déchets radifères, le besoin en barrière au transport des solutés est moins exigeant car ils se caractérisent par un contenu radiologique et une activité plus faible. Aussi l'étude des deux options de conception sous couverture intacte ou remaniée est poursuivie pour les déchets radifères.

e. Modélisation et simulation

En 2007 ont été lancées les actions relatives au programme de modélisation et de simulation de l'agence pour la période 2007-2012 et à la consolidation du plan de développement de la plateforme Alliances.

Les travaux menés notamment avec le CEA pendant les années 2006 et 2007 ont permis différentes avancées parmi lesquelles on peut citer la mise en œuvre de nouvelles fonctionnalités pour le transport en milieu insaturé, le couplage des modèles de dégradation des colis avec l'environnement, la mécanique et l'extension du couplage chimie-transport.

D'autres travaux ont permis d'améliorer la qualification de l'outil Alliances et de son environnement. Enfin, un effort considérable a été consenti pour accroître les capacités de calcul et le potentiel de certains codes (Porflow, Castem, Traces, Tough) en particulier de façon à travailler sur des maillages importants.

Parallèlement, des travaux menés dans le cadre du programme PACEN visent à regrouper et interconnecter les compétences en modélisation mathématique, analyse numérique et calcul scientifique, notamment afin de répondre aux demandes sur le stockage géologique. Les principaux efforts ont porté sur l'amélioration et la consolidation des modèles pour l'hydrogéologie de site, la modélisation des écoulements multiphasiques avec production de gaz, et les couplages thermo-hydro-mécaniques. On notera en particulier la mise en place par l'Andra d'un benchmark sur le transfert des gaz dans le stockage et sa réalisation en lien avec le GNR Momas.

f. Etudes relatives à la séparation et à la transmutation des actinides mineurs

L'étude de la séparation/transmutation s'inscrit dans une stratégie de gestion globale des déchets nucléaires. Elle ne concernera pas l'inventaire des déchets MA et HAVL qui seront dans le MID du projet de stockage géologique profond tel qu'il sera présenté en 2014 devant le Parlement. A ce titre, elle est complémentaire du stockage géologique profond et son objectif est de préciser si elle peut constituer un axe de progrès.

Dans ce domaine les études sont encore à un stade prospectif et éloigné des réalisations industrielles. La mise en œuvre d'une telle technologie ne peut se concevoir qu'à une échéance lointaine : elle nécessite l'existence d'une nouvelle usine de traitement en remplacement de l'usine actuelle de la Hague et la présence d'un certain nombre de réacteurs à neutrons rapides de 4^{ème} génération dans le parc français.

L'objectif des études en cours est d'évaluer les perspectives industrielles de la transmutation des actinides mineurs, que ce soit en réacteur critique, ou en réacteur sous-critique (ADS : Accelerator Driven System) et de dégager une stratégie de recherche pour l'après 2012, notamment au travers de scénarios d'études technico-économiques sur l'ensemble du cycle du combustible (quel est l'apport de la transmutation en fonction des noyaux transmutés ? quels actinides recycler ? sous quelles formes de combustibles ou de couvertures ? Et leurs implications sur la fabrication des combustibles, leur manutention (chargement et déchargement), leur transport et leur retraitement et l'impact sur le stockage géologique, ...).

Même si les échéances sont lointaines, il faut s'y préparer dès maintenant, car la qualification de combustibles avec actinides mineurs nécessite des actions de R&D longues, faisant appel à des expériences d'irradiations ; l'industrialisation de procédés de traitement dont la faisabilité a été établie au niveau du laboratoire pour certains d'entre eux, constitue également une tâche de longue haleine. De plus, ces travaux sont indispensables pour nourrir les réflexions sur la conception des réacteurs et des usines du cycle du futur.

En ce qui concerne le bilan, les principaux résultats ont été obtenus dans le cadre de la loi du 31 Décembre 1991, où l'on a pu conclure à la faisabilité des principales options de séparation. En ce qui concerne la transmutation, l'utilisation de réacteurs à spectre rapide est la seule envisageable, mais les performances technico-économiques des différents scénarios restent à conforter en fonction de l'avancement des études de conception (réacteur et installations du cycle du combustible). Notons de plus, qu'il est maintenant acquis que la transmutation ne concernera pas les produits de fission, même à vie longue.

g. Etudes en sciences humaines et sociales

En réponse au PNGMDR (relayé par la CNE) qui a demandé au CNRS de veiller à poursuivre des « efforts de réflexion et d'études en matière de sociologie et sciences humaines » la branche de sciences sociales du département EDD du CNRS (Environnement Département Durable) a organisé en octobre 2007 une réunion à l'issue de laquelle, il a été décidé de lancer dès 2008 au sein de PACEN le programme d'activité interne au CNRS, ACSSON (ACtion en Sciences SOciales sur le Nucléaire).

La démarche d'information et de dialogue proposée par l'Andra dans le cadre du projet HAVL est présentée dans un document qui décrit le cadre, les principes, les objectifs et les étapes du programme. Il a été transmis aux interlocuteurs institutionnels de l'Agence (tutelles, CNDP, HCTISN, Clis, élus). Un travail spécifique a également été effectué pour préparer les échanges avec les acteurs locaux en vue de la définition des scénarios d'implantation du futur centre de stockage. La démarche de consultation s'appuie sur l'intégration des Sciences Humaines et Sociales au sein de l'Agence. Cette intégration est assurée par le recrutement d'un chargé de mission au sein de la Direction Scientifique et la réalisation des études SHS associées au projet dans le cadre du programme scientifique. On notera en particulier la mise en place d'un programme spécifique portant sur la réversibilité qui s'est traduit par une journée de travail réunissant une trentaine de participants et la sélection d'un sujet de thèse pour un financement Andra.

2. Préparer pour l'après 2012, une stratégie de recherche sur la séparation/transmutation des radionucléides à vie longue

Le programme de recherches sur la transmutation a plusieurs objectifs :

- évaluer les apports (et les détriments potentiels) d'une transmutation des radionucléides à vie longue (en particulier apports sur le stockage, en liaison avec l'Andra, sur les usines du cycle du combustible, ...),
- mettre au point les procédés de sa mise en œuvre (séparation, transmutation, fabrication des combustibles et cibles, etc.).

L'objectif poursuivi est de réduire les dangers et nuisances associées à la présence de radionucléides à vie longue dans les déchets ultimes : essentiellement diminution de l'inventaire radiotoxique à long terme (1000 ans et au-delà) et de la charge thermique à moyen terme (période 100 ans-1000 ans), qui est un élément dimensionnant du stockage géologique.

Le programme ne s'intéresse qu'à la transmutation des actinides mineurs, à l'exclusion des produits de fission ou d'activation à vie longue présents dans les déchets issus du traitement des combustibles usés. Les actinides mineurs, en raison de leur très faible mobilité dans les conditions du stockage géologique étudié, ne contribuent que très peu à l'impact à long terme. En effet, les résultats exposés par l'Andra dans son dossier 2005 révèlent que les seuls réels contributeurs à l'impact radiologique en surface sont l'Iode, le Chlore et le Sélénium, leur incidence sur la dose calculée à l'exutoire restant faible. En revanche, les actinides mineurs sont des contributeurs essentiels à la thermique séculaire des déchets et, à ce titre, constituent la principale "cible" du programme de recherches.

Np, Am et Cm présentent des caractères différenciés (tant par les nuisances que leur présence confère aux déchets, que par les difficultés induites par leur recyclage) ; il semble donc intéressant d'étudier également de façon différenciée le recyclage de ces divers éléments, le cas du curium appelant notamment une analyse approfondie.

Les modes de transmutation à l'étude pour les actinides mineurs concernent leur recyclage en mode homogène (en dilution dans les combustibles des réacteurs de 4^{ème} génération), ou en mode hétérogène (en couvertures ou sur cibles dédiées) dans des réacteurs de 4^{ème} génération ou dans des systèmes pilotés par accélérateurs (ADS).

2.1. Les recherches en séparation

Les procédés en développement concernent essentiellement 3 grandes options :

- la récupération, par une adaptation et des compléments au procédé PUREX (ou COEX), du neptunium, de l'américium et du curium présents dans le combustible utilisé [séparation poussée – procédés DIAMEX-SANEX];
- la récupération, en aval de COEX ou de PUREX, du seul américium (le principal contributeur à la radiotoxicité et à la thermique à long terme des verres actuels);
- la récupération en bloc de tous les transuraniens (plutonium et actinides mineurs) [séparation groupée – procédé GANEX].

On dispose déjà de procédés expérimentés sur solutions réelles pour la première option (DIAMEX, SANEX); il s'agit ici essentiellement de développer et d'expérimenter à l'échelle du laboratoire, d'ici 2010, des procédés relatifs aux deux autres options d'intérêt.

Le programme de R&D en "séparation" a pour objectifs :

- la mise au point des procédés pour la récupération des actinides mineurs dans les combustibles usés, pour les diverses stratégies de gestion étudiées;
- et, dans l'optique d'une transposition industrielle de ces concepts:
 - de simplifier autant que cela est possible les procédés ;
 - d'en consolider la mise en œuvre.

Dans l'optique d'une transposition industrielle, les études de R&D visent à simplifier les schémas et à acquérir les consolidations nécessaires à leur mise en œuvre :

- *Le programme "simplification"* vise, à partir des premiers concepts étudiés, à renforcer leur viabilité industrielle, notamment en diminuant le nombre d'étapes élémentaires successives, et en cherchant à opérer à des concentrations plus élevées ; il a débuté avec l'évolution de la formule de certains extractants, pour mieux répondre à ces objectifs. Deux voies sont ainsi évaluées, une voie regroupant en un seul cycle les deux procédés DIAMEX et SANEX avec une étape de séparation des extractants et une voie utilisant un nouvel extractant, le TODGA.
- *Le programme "consolidation"* vise à mieux approcher, dans ses diverses dimensions, les conditions de mise en œuvre industrielle de ces procédés, en s'intéressant notamment aux évolutions de performance à long terme, au contrôle et à la conduite des procédés, à la synthèse des réactifs et au devenir des sous-produits, au développement de modèles de simulation de tels procédés (pour analyses de fonctionnement approfondies) , ...

Ces études visent à disposer en 2012 des divers éléments pour l'évaluation des perspectives industrielles appelée aux termes de la loi de juin 2006.

Ces recherches et développements :

- sont alimentées par une *recherche amont* conduite à l'ICSM (Institut de Chimie Séparative de Marcoule – unité mixte de recherche CEA-CNRS-université de Montpellier) et à travers le GNR PARIS mis en place par le CNRS via son programme interdisciplinaire PACEN;
- sont menées en cohérence avec le développement *de procédés de fabrication de combustibles ou cibles* pour le recyclage des éléments récupérés.

Les études sur la séparation sont complétées par des recherches sur *les procédés pyrochimiques* à vocation plus prospective.

Ces procédés réputés compacts présentent des atouts, par exemple pour le traitement de combustibles difficilement solubles en phase aqueuse. Leur principal intérêt étant leur faible sensibilité à la radiolyse, ils permettraient ainsi de traiter des combustibles très radioactifs dès leur déchargement de réacteur (par exemple, les combustibles destinés aux ADS).

Les recherches sur les procédés pyrochimiques visent à apporter des éléments de faisabilité via des expériences à l'échelle du laboratoire et à progresser dans l'évaluation des questions soulevées par la mise en œuvre à l'échelle industrielle ; on s'efforcera ainsi d'être en mesure de mener, à l'échelle du laboratoire, une première expérimentation sur objet irradié à l'horizon 2012.

2.2. Les études relatives à la fabrication du combustible

Après l'étape de séparation des éléments à transmuter, des étapes de conversion des actinides sont nécessaires avant la fabrication du combustible. L'objectif de la conversion est d'obtenir un composé solide à partir des solutions nitriques d'actinides issues des procédés de séparation.

La R&D actuellement en cours vise à évaluer les différentes voies de conversion des solutions chargées en actinides mineurs afin d'identifier les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles. Ces résultats permettront d'orienter le choix d'un procédé potentiellement industrialisable en 2012.

Pour les cœurs de démarrage (sans actinides mineurs) des prototypes à venir, les études portent principalement sur le développement du combustible MOX. La faisabilité de l'utilisation d'un combustible carbure sera toutefois évaluée, intégrant les étapes de fabrication, de retraitement et de mise aux déchets.

Pour le combustible MOX, la principale innovation vient du développement de la coconversion. Le programme de R&D mis en place jusqu'en 2012 vise à porter le développement de la co-conversion U-Pu jusqu'à un stade industriel et à adapter les étapes de fabrication de la céramique combustible à ce nouveau type de poudre.

Les installations de fabrication : La démonstration de la faisabilité technologique de la transmutation nécessite l'accès à des outils de fabrication de combustibles expérimentaux. Ces moyens sont nécessaires pour produire les différents éléments combustibles destinés à alimenter les programmes

d'irradiation indispensables au développement des combustibles et à leur qualification, mais aussi au développement des procédés de fabrication.

Le projet d'installation ALFA, aujourd'hui à l'étude, serait destiné à produire à l'horizon de la mise en service d'ASTRID les aiguilles expérimentales chargées en actinides mineurs, pour les expérimentations à l'échelle du faisceau d'aiguilles (capacité visée pour ALFA: de l'ordre du kg de combustible par an)

En parallèle, AREVA et CEA évaluent conjointement la faisabilité et le coût de la construction, sur le site de La Hague, d'un atelier de fabrication de combustibles MOX pour le prototype de réacteur rapide ASTRID.

2.3. Les recherches relatives à la transmutation

L'objectif des études menées au CEA est de consolider en 2012 les options possibles pour la transmutation des déchets en réacteur critique de 4ème génération (neutrons rapides), ainsi qu'en réacteur sous-critique (ADS). L'évaluation de la faisabilité des différentes options de transmutation, qui n'ont pas aujourd'hui toutes le même niveau de maturité, passe par des considérations relatives à la fabrication des matériaux, la manipulation des combustibles, cibles ou couvertures, l'impact sur le réacteur, le comportement en irradiation et sa modélisation, et enfin le traitement du matériau irradié.

- Recyclage des actinides mineurs en mode homogène : les actinides mineurs sont incorporés au combustible dans des proportions faibles, si bien que l'impact sur les paramètres de sûreté du cœur reste limité (typiquement quelques %). A ces teneurs, le comportement et les performances du combustible sont très peu modifiés. Cela a été démontré dès les années 1980 par l'irradiation SUPERFACT dans le réacteur Phénix. S'agissant de l'option la plus mature, la prochaine étape sera celle d'une démonstration de faisabilité à l'échelle de plusieurs aiguilles. C'est l'objectif du programme international GACID dans le réacteur MONJU mené dans le cadre du forum "Génération IV". Mais cette irradiation pourrait s'envisager en fonction de leur disponibilité et des conditions d'accès soit dans les autres prototypes qui seront disponibles dans la prochaine décennie, soit directement dans le prototype français ASTRID. Dans les prochaines années, les connaissances actuelles seront enrichies des progrès de la modélisation et des apports d'expériences menées dans un cadre international (irradiations à JOYO au Japon, ATR aux Etats-Unis notamment).
- Recyclage des actinides mineurs en mode hétérogène : les actinides mineurs sont cette fois concentrés dans des assemblages dédiés positionnés en général en périphérie du cœur et qui de ce fait ont peu d'impact sur les paramètres de sûreté du cœur. Deux voies sont considérées :
 - le recyclage sur support inerte (MgO notamment) pour lequel de très nombreuses études et expériences ont été réalisées notamment dans le réacteur Phénix. Les examens après-irradiation et l'interprétation de ces expériences fourniront les éléments pour consolider la faisabilité de cette option dans ses deux variantes : multirecyclage, ou monorecyclage en environnement localement modéré.
 - Couvertures Chargées en Actinides Mineurs (CCAM) : c'est aujourd'hui une voie qui paraît attractive et est jugée prioritaire à explorer par la Commission Nationale d'Evaluation ; un effort particulier sera fait sur ce sujet, notamment pour disposer des éléments relatifs aux performances de transmutation, à l'impact sur le cycle et à la sûreté du réacteur, parallèlement à la préparation d'expérimentations; le recyclage se fait sur support uranium (teneur en AM de 10% à 20%, avec pour variante le recyclage de tout ou partie des actinides mineurs) ce qui rend compatible cette option avec le traitement du combustible standard ; *toutefois, une microstructure spécifique est à mettre au point et à qualifier expérimentalement.* Un programme d'irradiation pour le développement de ce combustible est en cours de définition (essentiellement dans les MTRs comme OSIRIS, HFR (programmes européens ACSEPT et FAIRFUELS), puis le RJH avant expérimentations "intégrales" dans un réacteur rapide.
- Recyclage en réacteur dédié de type ADS : les actinides mineurs sont concentrés dans le combustible de l'ADS (typiquement 50%) et sont alors associés à du plutonium. Une partie des études relatives aux cibles sur support inerte est utile pour la mise point de ces combustibles dédiés dont l'étude est menée dans un cadre international. Des irradiations sont en cours, notamment dans le cadre européen dans Phénix (FUTURIX-FTA), et dans HFR

(BODEX et HELIOS), et les premiers résultats d'examens après irradiation seront disponibles en 2012, permettant une première approche de la faisabilité du combustible des ADS. Le CEA poursuivra par ailleurs sa contribution à l'acquisition de données neutroniques élémentaires et au développement de l'accélérateur de protons (injecteur, test de fiabilité notamment).

2.4. Etudes technico-économiques et scénarios

Les études technico-économiques visent à disposer dès 2012 d'éléments d'évaluation des coûts de mise en œuvre des diverses options de transmutation étudiées à l'échelle du parc électronucléaire, et à évaluer les conséquences de la mise en œuvre de ces options sur :

- le déploiement des réacteurs de 4^{ième} génération intégrant notamment les ressources nécessaires,
- les capacités des installations du cycle,
- les déchets produits et leur emprise sur le stockage géologique,
- les impacts économiques associés.

Les différentes familles de scénarios étudiés et leurs variantes associées seront accompagnées de manière à apprécier (quantifier lorsque l'on dispose de paramètres pertinents) les apports et les détriments de ces diverses options, et à mieux cerner divers scénarios possibles de déploiement. Ces études sont menées par le CEA en liaison avec les industriels pour asseoir notamment le choix des scénarios étudiés, les paramètres d'optimisation et les critères d'évaluation.

2.5. Etudes amonts et données nucléaires

La recherche dans le domaine des données nucléaires concerne l'Axe I de la loi dans son volet transmutation. Pour ce faire, elle doit aussi intégrer le besoin en données nucléaires de précision pour les systèmes (critiques ou sous-critiques) auxquels pourrait être confié la tâche de réduction des quantités d'actinides mineurs envoyés aux déchets ultimes. La nature amont et généraliste du sujet facilite l'intégration des activités de recherche françaises (CNRS & CEA) dans des programmes coordonnés au plan international. Ainsi le programme de travail qui se met en place est cadré par les conclusions du rapport OCDE/NEA. Celui-ci, à partir des caractéristiques des réacteurs rapides critiques GEN-IV et des ADS, a défini une liste hiérarchisée d'isotopes (au premier rang de laquelle on trouve ceux de l'américium et du plutonium) et de sections efficaces (fission, capture, réaction, inélastique, totale) pour laquelle les données actuelles sont considérées comme de précision insuffisante (quand elles ne sont pas tout simplement manquantes). Dans le prolongement des programmes européens EUROTRANS-NUDATRA, CANDIDE et EFNUDAT, les équipes françaises se sont intégrées dans un nouveau programme du FP7 ANDES. S'appuyant sur l'expérience accumulée et sur un réseau international d'installations expérimentales, dans les trois ans à venir, la communauté se propose de mesurer au niveau de précision requis des sections efficaces différentielles prises dans la liste OCDE/NEA. Elle va aussi s'impliquer plus activement dans le processus d'évaluation (incertitudes, matrices de covariance) de façon à accélérer l'intégration des nouveaux résultats dans les bases de données (JEFF, ENDF, ...).

Finalement, elle utilisera les données différentielles ainsi acquises dans les outils de simulation les plus récents pour une revisite des résultats disponibles d'expériences intégrales en réacteur rapide. Ceci permettra d'apprécier l'adéquation à la physique des réacteurs, du niveau de précision des données élémentaires. Bien que le domaine énergétique couvert soit pour l'essentiel celui des réacteurs critiques thermiques et rapides, une fraction du programme de travail couvrira aussi les sections efficaces pertinentes (matériaux de structure essentiellement) pour les plus hautes énergies rencontrées dans les ADS.

3. Améliorer la connaissance et travailler en amont sur le conditionnement des déchets

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. Lorsqu'il existe des couplages importants entre le comportement du colis et celui des matériaux environnants ou lorsque les études font appel à des communautés scientifiques différentes, la R&D est alors réalisée au sein d'un groupement de laboratoires piloté par l'Andra. C'est notamment le cas pour les études sur l'altération du verre et sur la corrosion du surconteneur (Groupement de laboratoires « Verre / fer / argile ») et pour celles concernant le comportement à long terme des colis de stockage en béton (groupement de laboratoire « évolution des structures cimentaires »). Le CEA participe à ces deux groupements de laboratoires.

Les programmes en cours s'intéressent principalement aux catégories de déchets et colis suivants :

- les déchets conditionnés via la gestion industrielle du combustible usé telle qu'elle est pratiquée à La Hague ;
- les déchets dits "historiques", entreposés à Marcoule et à la Hague lors du traitement industriel du combustible usé avant le démarrage de l'usine UP3 (1990) ou ceux des activités de recherche de la même période. Une part de ces déchets est encore sous forme brute ou, dans certains cas, peut nécessiter un reconditionnement. Conformément aux exigences de la loi du 28 juin 2006, cette opération devra être achevée en 2030 ;
- les déchets radifères, provenant principalement du traitement des minerais pour l'industrie chimique ;
- les déchets graphite, issus du démantèlement des réacteurs de la filière graphite-gaz ;
- les déchets provenant des opérations de nettoyage consécutives à la mise à l'arrêt et ceux provenant des différentes phases de déconstruction des installations ;
- les combustibles de la propulsion nucléaire⁴¹ et des réacteurs de recherches.

Afin d'assurer la cohérence de l'ensemble des études sur le comportement à long terme des colis de déchets HA et MA-VL (flux de données, planning, complémentarité des programmes...) des structures de pilotage communes CEA, EDF, AREVA, Andra ont été mises en place.

En ce qui concerne les déchets graphites, la R&D est pilotée au sein d'une structure commune réunissant l'Andra, le CEA et EDF.

Les études sur les combustibles usés issus de la propulsion nucléaire et des réacteurs de recherche sont menées en partenariat CEA – Andra.

En complément de la voie de référence française basée sur le traitement du combustible et à titre conservatoire, des études sont aussi poursuivies sur la connaissance de l'évolution à long terme des propriétés des combustibles usés des REP, même si ces derniers ne sont pas considérés comme des déchets. Ces études sont menées en lien entre l'Andra, le CEA et EDF au sein du programme PRECCI du CEA.

⁴¹ L'option du traitement de ces combustibles à l'usine de La Hague étant toujours à l'étude, ils sont considérés comme étant des matières valorisables et ne figurent dans les programmes de R&D de gestion à long terme des déchets HA qu'à titre de précaution

3.1. Les déchets de haute activité

La vitrification est aujourd'hui en France le procédé industriel de référence pour le conditionnement des déchets de haute activité. En liaison avec la mise en service en 2010 d'un procédé de vitrification en creuset froid dans une chaîne de vitrification à la Hague, les études de formulation des verres se poursuivent pour tenir compte des évolutions des compositions des solutions de produits de fission et traiter d'autres types de déchets tels que par exemple les effluents issus des opérations de mise à l'arrêt des installations et les solutions de produits de fission issues du traitement de combustibles UMo des réacteurs graphite gaz.

A plus long terme, dans un souci de rationalisation, des études (procédé et matériaux) visant à élargir le champ d'application de la vitrification seront poursuivies pour certains effluents.

Pour les verres "actuels" (R7T7, AVM, UMo), afin d'accroître progressivement le réalisme 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 poursuivies, en tenant compte par ailleurs des possibilités d'évolution dans la composition des combustibles usés (notamment teneurs accrues en actinides mineurs).

On s'est notamment intéressé, dans le cadre d'un programme commun Andra, AREVA NC, CEA (2008-2010) aux problématiques relevant de la fracturation initiale du verre, et de son comportement mécanique en conditions de stockage. Dans le cadre du groupement de laboratoire « Verre / fer / argile » mis en place par l'Andra, les études visent d'une part à conforter les mécanismes d'altération des verres, mais surtout à comprendre et à modéliser les interactions entre le verre et les autres composants du stockage. Dans le premier cas, il s'agit de préciser le comportement du verre en tenant compte de l'évolution de conditions de stockage comme l'existence d'une phase non saturée, les interactions entre le verre et l'eau porale de la formation argileuse, ou encore le rôle éventuel des microorganismes sur l'altération du verre. Dans ces conditions, on évaluera l'importance relative des différents mécanismes à l'origine de la chute de la vitesse d'altération.

Dans le second cas, il s'agit d'étudier les interactions entre le verre, les matériaux métalliques et leurs produits de corrosion, et l'argilite. Pour ce faire, un programme de R&D a été mis en œuvre, intégrant des expériences visant à étudier les mécanismes de ces interactions, des expériences intégrales (appelée aussi « maquette » comme les expériences ARCORR constituées d'un déchet vitrifié dans son enveloppe métallique au sein de l'argilite, dans des conditions proches de celles attendues en stockage) et des expériences en laboratoire souterrain à Bure.

Les études sur la corrosion du surconteneur de déchets vitrifiés sont réalisées au sein du même groupement de laboratoire. Elles visent à fournir les modèles et les données qui permettront le dimensionnement du surconteneur. Dans cette optique, les recherches seront principalement orientées vers la détermination des vitesses de corrosion en fonction des conditions de stockage (température, milieu aéré ou anoxique, argilite au contact ou eau argileuse...), l'identification et la caractérisation des produits de corrosion et l'évaluation de la production d'hydrogène.

Les études sur l'altération du verre et la corrosion des enveloppes métalliques nécessiteront de comprendre les mécanismes d'interaction de ces matériaux avec l'argilite : nature des produits de corrosion, interaction entre le silicium provenant du verre et de l'eau de site avec l'argilite ...

Enfin, des études viseront à proposer des modèles moins majorants pour le transfert des radionucléides hors du verre et au sein des produits de corrosion.

Cette recherche permettra de consolider les modèles de comportement du colis de déchets vitrifiés dont une première version est attendue pour 2010 et les référentiels de connaissance attendus pour 2012.

3.2. Les déchets de moyenne activité

Les études sur les déchets de moyenne activité visent à :

- réduire le volume des déchets produits, outre les objectifs de réduction des déchets à la source ;
- obtenir une forme physico-chimique des déchets la plus inerte possible, facilitant leur conditionnement ultérieur ;
- disposer de modes de conditionnement permettant une meilleure maîtrise des colis de déchets produits, limitant les contraintes pour la sûreté en exploitation et à long terme du stockage.

Les enjeux importants des années à venir concernent ainsi :

- la décontamination :

Les études sur les méthodes de décontamination des liquides aujourd'hui éprouvées et mises en œuvre dans les stations de traitement des effluents sont poursuivies pour réduire les quantités de réactifs et de toxiques chimiques en liaison avec les évolutions des réglementations.

Dans le domaine des solides, dans un objectif de réduction des quantités d'effluents générés lors de ces opérations, les efforts de R&D se portent sur les études de formulation des mousses et gels visant à proposer des innovations industrialisables dans les 5 ans à venir.

- le traitement des déchets :

En plus d'une réduction du volume, le traitement des déchets vise à assurer une compatibilité, notamment physico-chimique, entre le déchet et la matrice ou le système d'immobilisation retenu pour la constitution du colis. Le développement de voies de traitement des déchets contenant des matières organiques : déchets technologiques (résines échangeuses d'ions, gants en latex ou néoprène, ..) ou d'effluents (solvants organiques, solutions tensioactives...) sera poursuivi.

Pour les effluents organiques, l'oxydation hydrothermale par l'eau supercritique (procédé DELOS) a été mise en service à l'échelle du laboratoire dans l'installation Atalante. Le retour d'expérience devra permettre d'envisager ce procédé à une échelle industrielle.

Pour les déchets technologiques, les études sur le traitement par incinération plasma/ vitrification (procédé SHIVA) seront poursuivies avec notamment l'augmentation de la durée de vie des torches, le traitement des gaz, ... de façon à assurer le pré-développement du procédé, à le porter au stade de la faisabilité industrielle et de pouvoir, d'ici une dizaine d'année, statuer sur le lancement du déploiement à l'échelle industrielle.

- le conditionnement des déchets :

Dans le domaine du conditionnement, les études visent à élargir le domaine des déchets pouvant être conditionnés par cimentation ou vitrification, tout en conservant les atouts en termes de coût et mise en œuvre.

Compte tenu des échéances fixées par la loi (conditionnement des déchets produits avant 2015 au plus tard en 2030), des études de formulation des bétons pour conditionner des effluents liquides (riches en sulfates ou en borates, ..) ou solides (déchets provenant du dégainage des combustibles UNGG, déchets graphite, ..) sont poursuivies en liaison avec les besoins des producteurs.

Une R&D plus long terme sur les potentialités de matériaux géopolymères siliceux pour des déchets peu compatibles avec les ciments sodocalciques a été lancée.

Les études de comportement à long terme des déchets MAVL portent sur trois grandes thématiques faisant l'objet de sous groupes du comité technique Andra / CEA / Producteurs.

- Pour les colis de boues bitumées, les recherches visent à parvenir à une meilleure compréhension des mécanismes de production et de relâchement des gaz de radiolyse afin d'avoir une évaluation moins majorante des volumes produits, ainsi qu'à identifier et quantifier le relâchement des espèces organiques issues de la dégradation des bitumes, sources potentielles de complexants vis-à-vis des radionucléides. L'impact potentiel des sels sur la modification des conditions chimiques dans le champ proche des alvéoles sera également évalué notamment en liaison avec des expérimentations en laboratoire souterrain. Les données obtenues, en lien avec le groupement de laboratoires thermochimie (données thermochimiques sur les espèces organiques), permettront de simuler les conséquences des perturbations hydrauliques et chimiques induites par les bitumes, à l'échelle de l'alvéole.

- Les gaz issus de la corrosion des matériaux métalliques et les gaz radioactifs constituent la seconde thématique. Il s'agit d'évaluer la production d'hydrogène issue de la corrosion des différents matériaux métalliques présent dans les déchets, en étudiant l'effet de la saturation.
- La troisième thématique porte principalement sur les déchets organiques (autres que les boues bitumées) afin d'estimer la production de gaz liée à leur radiolyse, et d'identifier et de quantifier les espèces complexantes et/ou agressives issues de leur dégradation par hydrolyse et radiolyse.

Pour ce qui concerne les colis de stockage en bétons, la R&D mise en place au sein du groupement de laboratoires « évaluation des structures cimentaires » constitue non seulement un support à la formulation des liants hydrauliques, mais vise également à proposer des modèles de comportement à long terme physiques et chimiques intégrant le couplage entre l'évolution chimique et les sollicitations physiques (mécaniques, thermiques...) et à évaluer les interactions possibles entre le déchet et le colis (interactions chimiques, mécaniques, transfert de gaz).

3.3. Les déchets FAVL

Les études visent à comprendre d'une part le comportement intrinsèque du colis de déchets (responsabilité du producteur), et d'autre part le comportement du colis de déchets en situation de stockage (responsabilité de l'Andra).

Dans le cas des déchets graphites, les programmes se focalisent sur les deux radionucléides les plus importants : le chlore 36 et le carbone 14. Il s'agit, dans le cas du chlore 36, de connaître son origine, sa forme chimique et sa localisation, afin de quantifier son relâchement en stockage. Les études sur le carbone 14 ont pour objet de vérifier qu'il sera relâché sous une forme inorganique non gazeuse, susceptible d'être fortement piégée par les matériaux cimentaires.

L'objectif poursuivi est de disposer d'un premier modèle de relâchement des radionucléides par le graphite pour les calculs préparatoires au DAC, et de préciser l'inventaire en chlore 36.

Une partie des travaux portant sur la thématique de la connaissance des déchets graphites sont mutualisées à l'échelle européenne dans le cadre du projet Européen Carbowaste (VIIème PCRD). Dans le cadre de ce programme, seront abordés les procédés alternatifs de gestion des graphites par traitement thermique, notamment pour ce qui concerne les déchets associés aux réacteurs de 4ème génération.

Des études sur les résines échangeuses d'ions, qui seront utilisées pour filtrer l'eau lors du démantèlement sous eau de certains réacteurs UNGG, sont réalisées par le CEA et EDF afin de connaître leur comportement en stockage (relâchement d'hydrogène par radiolyse et d'espèces complexantes).

Dans le cas des déchets radifères, les études se focalisent sur la spéciation des radionucléides en fonction des conditions de stockage (milieu argileux ou cimentaire), en intégrant les procédés d'insolubilisation mis en œuvre par les producteurs. Il s'agit également d'évaluer les effets des espèces complexantes et des sels de ces déchets sur le transfert des radionucléides.

3.4. La connaissance de l'évolution du combustible utilisé

Actuellement seulement une partie des combustibles UOX sont traités et les combustibles MOX sont entreposés. Le traitement différé de ces combustibles est prévu en cohérence avec le déploiement d'un parc de réacteurs de 4ème génération, conduisant à des durées d'entreposage industriel au-delà du retour d'expérience actuel. Il convient donc d'accroître la connaissance du comportement des combustibles usés (UOX et MOX en attente de retraitement), de l'évolution de la gaine et de l'assemblage dans les conditions de transport et d'entreposage prolongé sous eau.

Par ailleurs, des études sur le comportement à long terme de combustibles usés qui seraient stockés sans retraitement préalable (influence de la composition de l'eau de site et des matériaux d'environnement sur l'altération) sont menées dans le cadre d'un partenariat CEA-EDF-Andra. Ces études doivent permettre de disposer fin 2010 d'un modèle de relâchement des radionucléides qui sera moins majorant que celui retenu pour le dossier 2005.

Les études sur les combustibles de la propulsion nucléaire et des réacteurs de recherche bénéficieront de celles sur les REP, en ce qui concerne les combustibles sous forme oxyde. Des actions spécifiques viseront à déterminer la vitesse de corrosion des combustibles UZr.

3.5. Les déchets des réacteurs de 4^{ème} génération

Les étapes de conditionnement des déchets suivront la même logique qu'actuellement avec la caractérisation du déchet brut, le traitement, le conditionnement puis la mise en conteneur.

Sur le moyen long terme, le déploiement des réacteurs de 4^{ème} génération nécessitera le traitement à plus grande échelle des combustibles MOX. Il faudra considérer l'impact de l'augmentation des actinides mineurs et des fines sur les déchets produits.

Avec un objectif de diminution des quantités, de la charge thermique et de la radiotoxicité des déchets, le cycle du combustible associé aux réacteurs de 4^{ème} génération sera modifié par rapport à l'existant et les déchets issus du traitement des futurs combustibles usés présenteront des différences. En effet, le cycle du combustible et donc les déchets produits seront modifiés en fonction du type de combustible et des options de recyclage des actinides mineurs. La gestion de ces déchets sera examinée en regard des filières existantes afin de montrer leur compatibilité ou d'explorer des évolutions possibles des filières (gestion des éléments volatils, nouveaux procédés de conditionnement avec par exemple le traitement de certains combustibles par des procédés pyrochimiques, conséquences sur l'emprise du stockage ...).

Enfin, dans la perspective de la construction de nouvelles usines de traitement-recyclage éloignées de la mer (projets à l'export par exemple), le piégeage et conditionnement de certains produits de fission volatils (comme l'iode par exemple) sera examiné.

4. Préparer les projets de stockage et d'entreposage des déchets

Sur le plan scientifique, les actions de recherche conduites afin de préparer la mise en œuvre des différentes installations de stockage et d'entreposage présentent des points communs. Par exemple, les travaux portant sur le comportement des radionucléides, la réactivité des liants hydrauliques ou l'amélioration de l'interprétation séquentielle à partir des diagraphies intéressent l'ensemble des projets. Dans les paragraphes qui suivent on s'attachera donc à décrire les recherches plus spécifiques à chaque projet ainsi que les actions qui bénéficieront d'une attention particulière au cours de la période 2010-2012.

4.1. Entreposage

Les recherches associées au programme entreposage, outre des aspects d'aéroulque ou de thermo-aéroulque, sont essentiellement orientées vers le comportement des matériaux qui seraient mis en œuvre pour la réalisation des ouvrages d'entreposage et dans une moindre mesure les matériaux de colisage.

En amont de la définition de concepts d'entreposage, il a été décidé de couvrir un besoin en connaissance relevant de processus "génériques", attendus en conditions d'entreposage. Ce programme est conçu pour fournir des résultats sur les différents processus envisagés à l'échéance 2011.

Sur les matériaux cimentaires, un programme portant sur la carbonatation en milieux non saturés et en température a pour objectif d'aboutir à un modèle de carbonatation atmosphérique en température.

Parallèlement, des expérimentations visant à évaluer le fluage des bétons en température a été défini et lancé sur des éprouvettes de taille pluri-décimétrique, ainsi que sur l'installation Galatée de Marcoule.

Les études sur les transferts gazeux et aqueux dans les matériaux cimentaires non saturés correspondent également aux problématiques attendues en conditions d'entreposage sur une durée séculaire. Ils font l'objet de travaux complémentaires à ceux mis en place dans le cadre du projet de stockage HA-MAVL.

Sur les matériaux métalliques, une analyse documentaire sur la corrosion sous rayonnement a montré la nécessité de mettre en œuvre un programme dont les caractéristiques ne sont pas encore clairement définies à ce jour.

L'étude de la corrosion atmosphérique fait suite aux travaux qui avaient été entamés au CEA sur ce thème et se poursuivent actuellement avec un objectif d'établissement d'un modèle de corrosion. L'étape actuelle est l'identification et la quantification des paramètres dimensionnants (description des cinétiques, faciès de corrosion, ...). Ce travail sera poursuivi en relation avec celui défini sur la corrosion en milieu cimentaire carbonaté (dégradés par carbonatation atmosphérique). Outre la caractérisation cinétique des processus et la définition de l'extension des zones physiquement et chimiquement impactées par les produits de corrosion, il s'agit de fournir des données d'entrée pour la modélisation couplée corrosion/mécanique, vers laquelle doivent déboucher les différents travaux de ce programme.

En complément aux expérimentations en laboratoire sur les couplages corrosion/mécanique, un programme d'auscultation d'ouvrages industriels anciens est à l'étude.

4.2. Le stockage à faible profondeur pour les déchets de faible activité et à vie longue

Bien que de nombreuses thématiques soient comparables à celles développées dans le cadre du projet HAVL (géologie du sédimentaire, panache alcalin, terme source gaz, représentation des transferts de nombreux éléments...), le stockage de déchets FAVL présente un certain nombre de spécificités : formations géologiques potentiellement différentes, présence éventuelle d'une couverture remaniée, nature des déchets (graphite des réacteurs UNGG, toxiques chimiques, radon), possibilité d'une couche hôte affleurante,... Deux points plus spécifiques au projet de stockage FAVL méritent d'être éclairés ci-dessous.

a. La caractérisation des sites

Les moyens de reconnaissance mis en œuvre depuis la surface (permettront d'accéder aux données spécifiques aux sites (topographie, coupe géologique, caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques des formations...) ainsi qu'aux échantillons nécessaires pour la caractérisation des propriétés physico-chimiques. Le choix des méthodes géophysiques capables de donner des informations détaillées sur les formations superficielles ainsi que l'interprétation des données ainsi obtenues feront l'objet d'une analyse particulière.

La connaissance du contexte géologique doit permettre de déterminer le volume disponible de la formation hôte potentielle ainsi que certaines de ses propriétés, telles que sa capacité à retarder la migration des radionucléides ou son aptitude à y créer les infrastructures du stockage. On s'attachera également à caractériser les encaissements de la couche hôte dans l'optique de construire un schéma hydrogéologique et contribuer à la construction d'un modèle géologique d'ensemble.

Pour ce qui concerne un stockage de type SCR (Stockage en Couverture Remaniée), la formation hôte est à l'affleurement. Or les alternances de gel – dégel, le contact avec l'oxygène ou le ruissellement des eaux sont autant de phénomènes qui sont susceptibles d'altérer les argiles en surface. Il est donc nécessaire d'estimer l'impact des modifications physiques et chimiques qui en résultent.

Sur ces bases, les études sur l'évolution naturelle du milieu géologique doivent répondre à trois objectifs importants pour les évaluations de sûreté :

- analyser le risque d'une érosion du stockage (SCR, en particulier) ;
- estimer les modifications de l'encaissant sus-jacent, telles que la création ou le développement de karsts ;
- caractériser les composantes physiques des biosphères types possibles dans le futur.

b. Chimie et migration des radionucléides et toxiques chimiques prioritaires

Concernant les déchets radifères, les calculs préliminaires génériques indiquent que les radionucléides prioritaires sont associés aux chaînes de filiation 4N+2 (226Ra, 210Pb, 230Th, 234U, 238U) et dans une moindre mesure 4N+3 (231Pa, 227Ac, 235U). On devra s'attacher pour ce qui concerne les actinides à maîtriser les conditions d'oxydoréduction au sein du stockage et de son environnement géologique (SCR en particulier). Les déchets radifères se caractérisent également par des toxiques chimiques (As, B, Hg, Sb, Cd) sur lesquels il s'agira de déterminer les paramètres de transfert pertinents en vue de l'analyse de sûreté et de l'étude d'impact.

Concernant les déchets graphite, trois radionucléides couvrent l'essentiel du spectre radiologique associé au relâchement de l'inventaire graphite sous eau : ^{36}Cl , ^{41}Ca et ^{14}C , les travaux antérieurs montrant que la contribution essentielle est associée à ^{36}Cl .

Le comportement de ^{36}Cl est contrôlé par sa diffusion au sein des matériaux de stockage (très faible sorption dans les matériaux cimentaires) et de la formation géologique (exclusion anionique et absence de retard chimique dans les roches argileuses). On s'attachera donc à vérifier ces tendances, le cas échéant, à rechercher des matériaux cimentaires optimisés vis-à-vis du piégeage de ^{36}Cl et à adapter le modèle spécifique de transfert de chlore dans la biosphère en intégrant la dynamique de changement du rapport ^{36}Cl /Chlore stable dans le sol.

Le traitement de ^{14}C visera à définir un modèle de comportement généralisé, en cohérence avec les formes relâchées par les graphites. Un distinguo sera fait entre espèces inorganiques et organiques. Il s'agira pour les premières d'évaluer l'échange isotopique au sein des carbonates solides, en quantifiant notamment l'accessibilité de la fraction carbonatée au sein de la roche totale. Pour les espèces organiques, des mesures de diffusion pourront être réalisées en complément à celles en cours pour le projet HAVL. L'ensemble des essais devra aboutir à un modèle reliant l'encombrement stérique des molécules avec la connectivité du réseau poral caractérisant la roche intacte. Pour ^{41}Ca , il s'agira de vérifier la représentativité des coefficients d'échange définis pour la fraction argileuse dans la roche intacte, puis d'évaluer l'échange isotopique, en particulier sur la fraction carbonatée.

En marge des aspects liés au transfert des radionucléides, la présence de sels, et notamment de nitrates et de sulfates issus des déchets radifères, soulève des problématiques de recherche amont liées au transport des solutés. On citera les suppressions d'origine osmotique, l'existence du phénomène d'exclusion anionique au sein de la roche hôte et la co-diffusion des radionucléides et toxiques chimiques d'intérêt.

4.3. Le stockage réversible en couche géologique profonde pour les déchets de haute activité, de moyenne activité et à vie longue

Le programme scientifique mis en œuvre repose sur une structure opérationnelle construite sur la base des réflexions menées jusqu'à mi-2007 et aboutissant plus spécifiquement à la mise en œuvre d'unités de programme dont une part importante repose sur un fonctionnement en groupements de laboratoires. Il s'appuie également sur le renouvellement de l'essentiel des partenariats de l'Agence et la mise à jour des thèmes de recherche scientifique qui alimentent leur activité.

a. Préparer l'implantation du stockage

A l'issue de la sélection d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (30 km²), il s'agira dès 2010 de mettre en œuvre les moyens de reconnaissance permettant de définir avec précision la géométrie des couches, leur agencement et les propriétés des roches qui les composent.

L'acquisition et le traitement de données de sismique 3D haute résolution visera en particulier à conforter les interprétations sur la structuration de la pile sédimentaire, de s'assurer de l'absence de structures tectoniques dans la couche du Callovo-Oxfordien et de disposer d'une vision 3D de la distribution de certaines propriétés de la couche et de ses encaissants.

On disposera également à ce stade d'une modélisation géométrique 3D de la couche qui fournira le cadre nécessaire pour proposer des choix d'implantation plus précise du stockage.

b. Mettre en œuvre des moyens d'observation et de surveillance

Les enjeux de l'observation de l'environnement de surface sont de fournir les données réglementaires pour l'état initial du site, mais aussi de comprendre les dynamiques des milieux en vue de l'étude d'impact et du dimensionnement de la surveillance de l'environnement pendant la construction et l'exploitation du stockage. Le projet d'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE) vise notamment à faire face aux enjeux liés à la durée de l'observation/surveillance du stockage. Il envisage en particulier une gestion des données et une conservation des échantillons pour garder un état de la situation de référence au travers de la mise en place, à l'échéance 2012, d'une écothèque sur le site de Meuse/Haute-Marne. Cette banque d'échantillons permet de garantir la traçabilité des mesures environnementales réalisées sur une durée d'ordre séculaire. L'écothèque accueillera tous les maillons de la chaîne alimentaire : eau, sol, plante, produits animaux. L'Andra pilotera sa conception, sa construction et l'équipement avec une infrastructure adaptée (cryogénie...) ainsi que son exploitation sur la durée. Au-delà de ces objectifs, l'ambition est de mettre à la disposition de la communauté scientifique une instrumentation et des données pertinentes et qualifiées.

L'observation/surveillance des ouvrages, et notamment celle des alvéoles, doit permettre de suivre leur évolution phénoménologique et d'apporter les éléments de connaissance à l'appui de la gestion d'un stockage réversible. Elle répond entre autres à l'objectif de pouvoir réévaluer la durée de vie des ouvrages et apporte également les éléments requis à l'évaluation des conditions de retrait éventuel des colis de stockage.

Dans ce cadre, les moyens de mesures sélectionnés doivent tenir compte des contraintes spécifiques d'un stockage. Parmi elles, la discrétion (miniaturisation, communication sans fil) et la robustesse (durabilité en milieu hostile, autonomie) constituent des objectifs qui sous-tendent la R&D mise en œuvre. Elle repose en particulier sur les objectifs suivants :

- garantir la disponibilité de moyens de mesures, notamment les mesures chimiques et radiologiques en environnement peu accessible ;
- développer des moyens de mesures distribuées en réponse à la difficulté d'identifier *a priori* la localisation d'évolutions importantes ;
- développer des outils d'analyse et d'interprétation des données et des modélisations en soutien à la stratégie d'auscultation ;
- augmenter la robustesse, la fiabilité, la durabilité, la discrétion, réduire la consommation ou augmenter l'autonomie énergétique des moyens d'auscultation (« durcissement ») ;
- qualifier et certifier les moyens et systèmes d'auscultation par des essais et des démonstrateurs.

Une part de la R&D sera réalisée dans le cadre du projet européen de monitoring « MoDeRn », qui s'inscrit dans le cadre du 7^e PCRD et dont l'Andra est le coordinateur.

c. Développer des expériences et opérations de démonstration intégrées en laboratoire souterrain

Le programme d'expérimentations et d'essais de démonstration en laboratoire souterrain définit des priorités qui s'appuient sur les besoins du projet HA-MAVL et intègrent les possibilités de

développement de l'architecture du laboratoire offertes par le renouvellement de l'autorisation du laboratoire au delà de 2011. On retiendra en particulier les objectifs suivants :

- la connaissance accrue des phénomènes élémentaires (Galerie Expérimentale Deux) reposant sur des expérimentations visant à compléter les connaissances sur les comportements thermohydromécaniques, sur la désaturation-resaturation et sur le transfert des gaz. On visera également à acquérir in situ et sur des durées importantes des données sur les interactions entre matériaux du stockage (verre, acier, liant hydraulique) et argillites ;
- la mise au point de la méthode de creusement des alvéoles de stockage de déchets HA, (Galerie Recherche & Méthodes). Ceci correspond, pour la période 2010-2012, à la mise en œuvre d'essais de plus en plus intégrés permettant de préciser le comportement hydromécanique puis thermohydromécanique des ouvrages et de valider et optimiser les techniques de construction ;
- les essais de creusement à la machine à attaque ponctuelle (Galerie Expérimentale Trois) et de soutènements non cintrés (Galerie Conception Souple, Galerie Conception Rigide). Ceci permettra de préciser en fonction des techniques de creusement, le comportement hydromécanique, la formation et l'évolution de l'EDZ.
- Des essais préparatoires à l'essai de scellement en galerie (Galerie Expérimentale Trois), réalisation du scellement (Galerie Essai de Scellement). On caractérisera in situ l'évolution de l'EDZ sous contrainte mécanique, en lien avec la perméabilité.

Parallèlement, des essais de fermeture des alvéoles HA permettent de tester la mise en œuvre technique et la performance du bouchon au gaz et à l'eau. A partir de 2012 est initié un essai de mise en œuvre et de test de performance d'un scellement (noyau) en galerie prévu pour durer plusieurs années.

Le jalon 2009 du projet HA-MAVL, comprenant une optimisation des concepts techniques d'ouvrages souterrains permet également de préciser certains objectifs d'essais de démonstration en laboratoire souterrain. Ainsi, la seconde phase d'essais technologiques d'alvéoles HA pourra prendre en compte des dispositions retenues.

4.4. Cibler des progrès scientifiques en support aux projets de stockage et d'entreposage

Certaines actions en matière de recherche et développement sont communes aux différents projets. Elles visent à disposer de bases scientifiques essentielles à la compréhension des processus et à leur représentation ainsi qu'à la valorisation de ces acquis pour effectuer les choix en matière d'architecture et de dimensionnement des stockages et entreposages. Deux exemples sont présentés ci-dessous.

a. Poursuivre la mise en œuvre de moyens de simulation performants

Avec l'objectif de disposer d'outils de calcul qualifiés, performants et maîtrisés (méthodes, codes et machines), on finalisera le développement de la plate-forme Alliances. Les axes de progrès d'Alliances concernent principalement la représentation des processus et les méthodes d'analyse appliquées à des processus spécifiques. Ils sont complétés par l'amélioration de « l'ergonomie » d'Alliances (par exemple les Interfaces Homme Machine), nécessaire à une utilisation soutenue et partagée d'Alliances, notamment pour la définition des calculs puis l'interprétation des résultats (pré et post processing), ainsi que certaines fonctionnalités informatiques, comme la gestion mémoire.

Il s'agira également de poursuivre la mise en place de stratégies de simulation adaptées à chaque problème, en tenant compte notamment de l'état des connaissances et des capacités des outils du moment. On citera par exemple le lien entre l'échelle de site et l'échelle régionale pour l'hydrogéologie ou le passage de la source locale à l'échelle de l'alvéole, puis du module du stockage, du stockage et enfin du milieu géologique pour le transitoire hydraulique – gaz.

Ainsi, aux différentes échéances des projets, la plate forme Alliances doit permettre de couvrir au mieux les besoins de finesse, de complétude et de précision des représentations phénoménologiques telles qu'envisagées ou envisageables pour les calculs préparatoires puis *in fine* les calculs d'impacts.

Les moyens de simulation doivent également être conçus comme une aide aux choix de conception et de réversibilité.

On poursuivra également les efforts orientés depuis 2007 vers la représentation des processus intervenant lors de l'exploitation et de la phase de réversibilité du stockage.

Enfin, dans l'optique de mener des simulations complexes temps-espace, on évaluera les besoins en calcul "haute performance" qui constitue une réponse possible à l'exigence future d'une connaissance plus intime encore du fonctionnement des stockages et des entreposages.

b. Disposer d'une modélisation fine de la structure et de la réactivité des argilites

La connaissance intime de la structure porale et des interactions solides - fluides, par exemple eau libre/eau liée/eau interfoliaire, eau liquide/gaz/minéraux argileux, sont au cœur de la compréhension des comportements hydraulique, géochimique et mécanique des milieux argileux naturels, ainsi que du transfert et de la spéciation en solution des radionucléides. Les progrès réalisés ces dernières années tant sur le plan expérimental, avec la nanotomographie, que sur le plan des modélisations ab initio et moléculaire ouvrent des perspectives quant à la possibilité d'une description multi-dimensionnelle et multi-échelle (du nano au pluri centimétriques) des milieux argileux naturels. Ces développements, reposant sur la somme de connaissances acquises sur les différents projets de l'Andra, doivent aboutir à un modèle de comportement des roches argileuses très peu perméables.

5. Recherches menées en support à l'expertise de sûreté du stockage en formation géologique profonde

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. L'IRSN a prévu, durant la période 2009-2012 d'explorer plus particulièrement les domaines suivants :

- **concernant les 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 concentrera en particulier ses efforts sur l'étude de 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. Les études de l'IRSN relatives aux caractéristiques de confinement du milieu géologique sont notamment réalisées au sein du GNR Trasse (associant l'IRSN et le CNRS) ainsi que du projet « Mont Terri »,
- **concernant 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 modélisation numérique des processus de création de la zone fracturée autour des ouvrages lors de leur creusement (EDZ), d'autre part sur la préparation d'expérimentations dans la station expérimentale de Tournemire (voir ci-après) visant à apprécier les paramètres clés qui gouvernent les performances globales d'un scellement. Un autre axe de développement concerne la compréhension et la modélisation des effets des gaz dans un stockage. L'IRSN contribue sur ce point au projet Européen Forge (cf. annexe internationale) pour ce qui concerne notamment l'évaluation des mécanismes de formation de gaz et les simulations numériques des effets attendus,
- **concernant 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. L'institut mettra notamment l'accent sur l'étude des effets possibles du développement bactérien sur la corrosion des aciers, sur l'étude des phénomènes de radiolyse et de dégradation des colis de déchets et sur la compréhension des interactions chimiques complexes ciment/fer/argile au moyen

d'expérimentations dans la station expérimentale de Tournemire, effectuées dans le cadre du GNR Trasse,

- **concernant la modélisation globale du stockage**, les efforts spécifiques de l'Institut porteront sur l'évaluation de l'influence des schémas hydrauliques du site de Meuse/Haute-Marne au moyen de modèles hydrogéologiques propres ainsi que sur le développement et la simulation des transferts de radionucléides dans le milieu géologique au moyen du code de calcul MELODIE (participation de l'Institut aux projets du 6ème PCRD Micado et Pamina ainsi qu'au GNR Momas.

Les recherches de l'IRSN ne s'effectuent pas isolément. De nombreuses coopérations sont en effet déjà engagées avec un réseau de partenaires scientifiques réputés (CEA, ENTPE, ENPC, ENSMP, LCPC, INERIS, IFP, CGG, le CEREGE, les universités de Paris VI d'Orsay, de Pau, de Nancy, de Grenoble, ...). L'Institut met en outre à disposition de son réseau de partenaires 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, Citons enfin que l'IRSN a établi un protocole d'accord avec l'Andra permettant la réalisation d'actions de recherche communes selon des dispositions permettant le respect des règles de déontologie nécessaires.

6. Les études en Sciences Humaines et Sociales

6.1. La recherche académique sur le nucléaire

Comme le lui a expressément demandé l'édition 2007 du PNGMDR et le Conseil Scientifique du CNRS, le programme PACEN s'attache à développer sa composante de recherche dans le domaine des sciences sociales (ACSSON). A priori, celle-ci a vocation à couvrir l'ensemble des questions de société concernant le nucléaire civil. Les sujets abordables vont donc au-delà de la traditionnelle question du risque radio-nucléaire et de sa perception par le public. Un éventail de sujets ont ainsi été évoqués parmi lesquels on citera les expériences étrangères tant pour le nucléaire civil en tant que composante du dispositif de production électrique que pour la problématique sociale de la gestion des déchets engendrés par cette production. Les méthodologies de communication des acteurs (pour ou contre), la signification d'un nucléaire qui se dirait « durable », l'évaluation des bénéfices de la transparence, les aspects spécifiques des droits français et internationaux sont des thèmes qui méritent aussi d'être considérés. Finalement il serait important de reprendre l'ensemble des études de nature économique au sens le plus large, c'est à dire incluant les impacts environnementaux. Il y a donc une grande variété de thèmes pour lesquelles une réflexion de la communauté des sciences sociales serait largement profitable au programme de recherche du PNGMDR.

Pour tenir compte des modalités de fonctionnement de la communauté SHS qui est fragmentée et dont la structuration reste modeste, il a semblé plus efficace à PACEN de ne pas chercher à hiérarchiser les sujets sur lesquels une action serait lancée. On s'est plutôt attaché, par une exploration large et indifférenciée, à repérer un ou plusieurs chercheurs qui accepteraient de porter un projet pertinent. Il leur est alors laissé la possibilité de moduler le thème et d'organiser un séminaire ou toute autre forme d'activité. PACEN s'attache donc à laisser aux acteurs la plus grande liberté pour définir le format de leur action. Une fois qu'une certaine « masse critique » sera atteinte, on essaiera, si c'est possible, de structurer les actions qu'il aura été possible de lancer en un tout cohérent. Dans un premier temps ACSSON sera donc plus une enveloppe d'actions juxtaposées qu'un programme unifié.

A la fin 2007, ACSSON a lancé un séminaire sur le thème de la temporalité en relation avec le nucléaire. Celui-ci apportera ses conclusions en 2009. Il s'agit d'analyser la façon dont les longues échelles de temps du nucléaire s'étalant de la décennie à des centaines de milliers d'années peuvent être assimilées par une société dont les rythmes d'évolution s'étagent plutôt de quelques mois à un mandat politique. L'année 2009 a vu le lancement d'un séminaire ALIEN sur l'Allemagne. La première année, ALIEN suivra l'évolution des idées sur le nucléaire civil en Allemagne depuis la fin de la guerre jusqu'à la situation actuelle et la mise en place de la doctrine du « sortir du nucléaire ». L'année 2010 s'attachera à analyser les dilemmes énergétique et climatique associés à la situation présente et les voies possibles de résolution. Une action sur le droit et le nucléaire est actuellement en préparation.

6.2. Appuyer une réflexion sur les solutions à long terme

En définissant sa politique de recherche en Sciences Humaines et Sociales (SHS), l'Andra vise notamment à intéresser les chercheurs en SHS aux travaux de l'Andra et à mobiliser progressivement cette communauté autour de sujets d'intérêt commun. La thématique de la réversibilité a été choisie à ce propos et dans un premier temps, en vue d'incorporer les aspects sociaux dans la conception du futur centre de stockage et de favoriser les échanges avec les parties prenantes.

Des sujets de recherche orientés spécifiquement vers les SHS sont proposés régulièrement dans le programme d'allocations de thèses de doctorat de l'Andra comme l'approche économique de la réversibilité qui fait déjà l'objet d'une recherche doctorale.

Sur la base d'une journée d'études organisée sur ce thème le 2 octobre 2008, l'Andra organise un colloque interdisciplinaire en juin 2009. Elargie aux réflexions qui ont actuellement lieu dans d'autres domaines (OGM, nanotechnologies, réchauffement climatique...) et à d'autres expériences industrielles comparables, ce colloque envisage la publication d'un ouvrage de référence sur la question et préfigure le colloque international de l'AEN/OCDE prévu en 2010.

L'Andra a souhaité consolider cette communauté d'intérêt entre les SHS et l'Agence autour de la réversibilité avant d'élargir la liste des thématiques à traiter et les possibilités de collaboration. Néanmoins, il est d'ores et déjà envisagé d'aborder la question de la préservation de la mémoire des sites dans le même esprit dès 2009-2010.

Dans une perspective de long terme, le rôle de médiation entre le technique, le politique et le social que l'Andra est voué à jouer en vue de produire une expertise à finalité politique devra être interrogé de manière réflexive. L'orientation stratégique de l'organisation sera donc un sujet d'investigation très important dans l'avenir proche pour lequel l'apport de la communauté des SHS apparaît essentiel.

Outre la stratégie de recherche énoncée précédemment, et dans un but plus opérationnel, des études ponctuelles ont été aussi proposées dans le cadre des programmes scientifiques des projets HAMAVL et FAVL. Ces études ont trait à des questions qui vont de la perception des risques à leurs conséquences sociétales, de l'aménagement des territoires aux modalités de concertation ou de la temporalité à la gestion des grandes échelles de temps. Moins directement axées sur la recherche, elles visent principalement le recueil d'informations et l'élaboration de conseils pour l'Agence en relation avec l'actualité des différents projets.

**Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer,
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat**

Direction générale de l'énergie et du climat

Arche Nord – 92055 La Défense Cedex

Tél. : 01 40 81 21 22

www.developpement-durable.gouv.fr

Autorité de sûreté nucléaire

6 place du Colonel Bourgoïn – 75572 Paris cedex 12

Tél. : 01 40 19 86 00

www.asn.fr

