2009

Inventaire national des matières et déchets radioactifs

Rapport de synthèse

ANDRA
La maîtrise des déchets radioactifs

avant-propos

Nous avons le plaisir de vous présenter la troisième édition de l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs, qui traduit l'engagement de l'Andra d'inscrire son activité d'Inventaire dans la durée, avec le soutien du ministère de l'Écologie, de l'Énergie du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, qui finance cette activité. L'Inventaire national est une pièce maîtresse de la gestion de ces matières et déchets, en tant que donnée d'entrée du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) qui sera prochainement révisé par le Gouvernement.

L'Andra a choisi de conserver la structure des Inventaires 2004 et 2006, en quatre volumes : Rapport de synthèse, Résumé, Catalogue des familles, Inventaire géographique auxquels s'ajoute un CD-rom. Nos lecteurs ont souligné la pertinence de ce mode de présentation, qui offre aux publics une quantité importante d'informations sous une forme facilement accessible, avec différents niveaux de lecture. La lecture comparative des Inventaires successifs s'en trouve grandement facilitée.

Soucieuse d'efficience et de développement durable, l'Andra a mis à disposition des producteurs et détenteurs des matières et déchets radioactifs un outil de télédéclaration par internet et a prérempli les déclarations : un gain de papier, de temps et de CO_2 qui profite à tous.

L'Inventaire national présente l'état des stocks de matières et déchets radioactifs au 31 décembre 2007. Outre cet arrêt sur image, vous y trouverez une évaluation prospective des stocks de déchets et matières en 2020, en 2030 et le bilan des déchets « engagés » à fin de vie du parc d'installations nucléaires existantes ou dont la construction est autorisée, en fonction des prévisions des industriels. Le lecteur attentif identifiera des modifications significatives par rapport à l'Inventaire national 2006 pour deux raisons : d'une part, le conditionnement et la filière stockage de certaines catégories de déchets ont été réexaminés à la lumière de connaissances nouvelles ou d'orientations fixées par le PNGMDR et, d'autre part, le nombre d'installations nucléaires engagées s'est accru, notamment avec l'autorisation de construction d'un EPR à Flamanville.

Évaluer les stocks de déchets en 2030 ou à fin de vie d'installations actuelles suppose de formuler des hypothèses sur le devenir des installations et sur la politique énergétique de la France à long terme. Ces sujets relèvent de la responsabilité des exploitants et des pouvoirs publics. Cette partie constitue un volet particulier de l'Inventaire national, plus technique, que l'Andra a cependant souhaité rendre accessible au public le plus large possible. Les évaluations correspondantes sont à comprendre comme des ordres de grandeur, dépendantes des choix de gestion à venir.

Les « petits producteurs » (hôpitaux, centres de recherche de taille moyenne, industriels utilisant occasionnellement des objets radioactifs...) constituent un part marginale des déchets, mais composent l'essentiel des sites. La liste et les données correspondantes ont été actualisées et enrichies le cas échéant. Cet enrichissement ne doit pas faire oublier la nécessaire modestie quant à la représentativité de l'Inventaire national, relativement macroscopique face à la variabilité des activités de ces petits producteurs à l'échelle d'une parution triennale.

Vous constaterez que le traitement des sites pollués par la radioactivité progresse et que l'Inventaire national prend en compte la recommandation du Haut Comité à la transparence et à la sécurité nucléaire d'harmoniser l'information relative aux sites de stockage historiques de déchets. L'Inventaire national recense 23 sites historiques de ce type, avec une classification plus explicite et des informations plus précises que dans l'édition 2006. Outre les fiches, un paragraphe spécifique a été ajouté dans le chapitre 3.1 du rapport de synthèse.
D'autres améliorations ou ajouts sont à noter, demandés par l'État, suggérés par le comité de pilotage de l'Inventaire national ou par les lecteurs ou encore introduits par l'Andra sans demande particulière : la section consacrée aux matières radioactives a été développée ; la répartition des déchets par propriétaire a été affinée ; les déchets étrangers temporairement présents sur le sol français sont présentés par pays ; une nouvelle section présente les capacités d'entreposage de déchets français dans l'attente de l'ouverture des deux futurs stockages FA-VL et HA/MA-VL respectivement prévue en 2019 et 2025 ; une annexe, relative aux déchets historiquement immergés dans l'Atlantique ou dans la Manche et aux déchets issus des expérimentations nucléaires dans le Pacifique a été ajoutée.

À toutes fins utiles, des explications sont fournies sur le rôle de l'Inventaire national, sur les responsabilités et la place des différents acteurs du monde de la gestion des déchets radioactifs. Des références bibliographiques sont fournies au lecteur désireux d'approfondir certains sujets.

La parution des éditions successives ouvrira l'opportunité d'améliorer encore le rapport, tant sur sa forme que sur son contenu. Les remarques de nos lecteurs sont des occasions uniques d'enrichir et de rendre cet Inventaire utile au plus grand nombre et sont, de ce fait, toujours bienvenues.

Nous vous souhaitons une bonne lecture de cette troisième édition.

François-Michel GONNOT
Président de l'Andra

Marie-Claude DUPUIS
Directrice générale de l'Andra

sommaire

historique de l'Inventaire national 6

1 les déchets radioactifs

1.1 La définition des déchets radioactifs 10
1.2 La classification des déchets radioactifs et les filières de gestion correspondantes 13
1.3 L'origine des déchets radioactifs 17
1.4 La gestion des déchets radioactifs 19

2 comment construit-on l'Inventaire national ?

2.1 Organisation retenue pour le recensement des matières et déchets radioactifs 34
2.2 Le recensement des déchets radioactifs existants 37
2.3 La comptabilisation et la prospective des déchets 40
2.4 Le recensement des matières radioactives 43
2.5 La gestion informatique des données 44
2.6 Les outils de vérification de l'Inventaire national 44

3 les résultats généraux

3.1 Les déchets radioactifs 48
3.1.1 Stocks des déchets radioactifs au 31 décembre 2007 51
3.1.2 Prévisions pour la période 2008-2030 71
3.1.3 Perspectives post 2030 85
3.2 Les matières radioactives 91

4 inventaire par secteur d'activité

4.1 Amont du cycle du combustible 101
4.2 Centres nucléaires de production d'électricité 108
4.3 Aval du cycle du combustible 118
4.4 Établissement de traitement des déchets ou de maintenance 129
4.5 Centres d'études et de recherche du CEA civil 132
4.6 Établissements de recherche (hors centres CEA) 140
4.7 Activités médicales : diagnostic, thérapeutique, analyses 144
4.8 Activités industrielles diverses : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers 150
4.9 Industries non nucléaires utilisant des matériaux naturellement radioactifs 162
4.10 Centres d'études, de production ou d'expérimentation travaillant pour la force de dissuasion 168
4.11 Établissements de la Défense 174
4.12 Entreposages, stockages 177

5 les sites pollués par la radioactivité

5.1 Qu'est ce qu'un site pollué par la radioactivité ? 184
5.2 La stratégie pour la gestion des sites pollués 185
5.3 Les origines des pollutions radioactives : quelques exemples 188
5.4 L'identification des sites pollués 190
5.5 Inventaire des sites pollués par la radioactivité 191
5.6 Prospective pour la période 2008-2030 191

6 les inventaires des déchets radioactifs à l'étranger

..... 196

7 annexes

Annexe 1 La gestion des déchets radioactifs français et étrangers issus des combustibles usés dans les installations AREVA de La Hague 202
Annexe 2 Les déchets engagés 212
Annexe 3 Les filières de gestion des déchets radioactifs 220
Annexe 4 Les besoins d'entreposage pour les colis de déchets HA et MA-VL 224
Annexe 5 Les déchets français immergés 230
Annexe 6 Glossaire 236

historique de l'Inventaire national

Connaître les matières et les déchets radioactifs est indispensable pour bien les gérer. Cela suppose en premier lieu de disposer d'une vision aussi complète et exhaustive que possible de leur nature et des quantités qu'ils représentent.

Une action constante est menée dans ce domaine par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra).

La loi du 30 décembre 1991 confiait à l'Andra la charge de « répertorier l'état et la localisation de tous les déchets radioactifs se trouvant sur le territoire national ». Au fil des années, par un patient effort de collecte et de recoupement des données, l'Observatoire de l'Andra a constitué une base de données de qualité sur les déchets existants et leur localisation géographique. Ainsi, pendant plus de 10 ans, l'Andra a publié annuellement un rapport sur ce thème, dont la dernière édition intitulée « Où sont les déchets radioactifs en France ? » date de 2002.

Chacun de ces rapports présentait les données disponibles sur les déchets radioactifs en les répertoriant en fonction de leur localisation. Cette approche était donc essentiellement géographique. Le travail conduit par l'Observatoire s'était enrichi d'année en année, avec un effort de recensement des déchets disparates situés aux marges de l'industrie nucléaire classique. Il en résulte aujourd'hui des données d'une grande richesse.

Toutefois, ces rapports présentaient plusieurs limites. Ils se bornaient à prendre acte des déchets existants, sans proposer de prospective sur les déchets futurs. N'ayant pas été conçus dans une optique comptable, ils ne permettaient pas une synthèse quantitative par catégorie de déchets ou par secteur d'activité. Enfin, ils comptabilisaient les seuls déchets radioactifs, sans inclure les matières radioactives, à savoir les substances contenant de la radioactivité, pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée.

Ces limites furent soulignées en 1998 par la Commission nationale d'évaluation (CNE), créée par la loi du 30 décembre 1991 pour évaluer l'état des recherches concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité ou à vie longue. Dans son rapport, la CNE recommandait d'établir « *un inventaire réaliste des déchets existants par catégorie à ce jour, puis de réaliser une mise à jour régulière* » et d'effectuer des prévisions, en adoptant un spectre aussi large que possible pour les substances considérées.

Tenant compte de ces recommandations, le Gouvernement confia en 1999, à Yves Le Bars, Président de l'Andra, la mission de lui proposer toute réforme visant à fiabiliser l'Inventaire des déchets radioactifs et notamment son extrapolation par des prévisions à moyen et long terme.

Le rapport remis au Gouvernement au cours de l'année 2000 par le président de l'Andra, intitulé *Rapport de la mission sur la méthodologie d'inventaire des déchets radioactifs* préconisait de réaliser un Inventaire national des déchets radioactifs existants et à venir, qui soit une référence, pour l'ensemble des parties prenantes et pour le public, et définissait les exigences méthodologiques correspondantes. Le rapport insistait particulièrement sur le volet comptable et prospectif à mettre en œuvre, fondé sur une présentation claire des hypothèses ayant conduit aux différentes prévisions. Il insistait, de plus, sur la nécessité d'inclure les matières dans cet Inventaire. Enfin, il soulignait la nécessité de poursuivre l'effort accompli dans le cadre de l'Observatoire, outil précieux pour le public, les administrations et les élus.

En 2001, sur la base de ce rapport, le Gouvernement prenait ainsi la décision de lancer la réalisation d'un Inventaire national de référence des matières et des déchets radioactifs, et en confiait la réalisation à l'Andra.

En 2002 était mis en place pour élaborer cet Inventaire, un comité de pilotage présidé par l'Andra et réunissant des représentants des ministères en charge de l'Énergie et de l'Environnement, de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), des producteurs de déchets issus de l'électronucléaire et d'autres domaines et, à titre d'observateurs, des représentants de la Commission nationale d'évaluation et de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

La première édition de l'Inventaire national a ainsi été publiée en 2004. La seconde édition, mise à jour de la première, a été publiée en 2006.

La mission de l'Andra relative à l'information du public sur la nature et la localisation des déchets radioactifs, précédemment définie dans la loi du 30 décembre 1991, a été confirmée par la loi du 28 juin 2006 qui charge l'Agence « d'établir, de mettre à jour tous les trois ans et de publier l'Inventaire des matières et déchets radioactifs présents en France ainsi que leur localisation sur le territoire national, les déchets visés à l'article L542-2-1[1] étant listés par pays ».

À compter de son édition 2009, l'Inventaire national constitue une donnée d'entrée du plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), lui-même élaboré et mis à jour tous les trois ans par le Gouvernement qui décline en actions la politique française de gestion des déchets radioactifs et les recherches et développements associés.

Le périmètre de l'Inventaire national est élargi par rapport aux éditions précédentes. Ainsi, dans la présente édition de l'Inventaire national (édition 2009), viennent s'ajouter aux informations sur les matières et les déchets radioactifs présentées dans les éditions 2004 et 2006, des informations sur les entreposages de déchets pour lesquels la solution de gestion définitive est encore à l'état de projet. Le contenu de certains chapitres est également enrichi (matières radioactives, déchets immergés, déchets en stockage historiques...). Les déclarations des producteurs et des détenteurs de déchets sont à présent réglementées : un décret du Conseil d'État et deux arrêtés ministériels définissent ces obligations déclaratives.

L'ambition de l'Inventaire national reste par ailleurs de contribuer à une gestion transparente et exemplaire des déchets radioactifs. Il s'agit d'un outil précieux dans le dialogue entre les différents acteurs concernés, et au premier chef le plus large public, comme l'a montré le retour des lecteurs sur les éditions précédentes.

1 Du code de l'environnement.

les déchets radioactifs

1.1 la définition des déchets radioactifs

L'article L 541-1 du code de l'environnement indique « qu'est un déchet au sens du présent chapitre 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 ». Il ajoute qu'« est ultime au sens du présent chapitre 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 »
L'article L542-1-1 du même code, modifié par la loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs [I], précise que les « déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée » et définit une substance radioactive comme « une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection ». En d'autres termes, les déchets doivent être considérés comme radioactifs s'ils sont susceptibles, dans certaines conditions, d'exposer une ou plusieurs personnes à des rayonnements dont le niveau ne peut être négligé du point de vue sanitaire.

Cette définition soulève deux types de questions :

Quelles sont les conditions d'exposition à considérer ?

Durant la vie d'un déchet, certaines personnes peuvent être exposées à son rayonnement dans des situations diverses : par exemple, les travailleurs amenés à le manipuler sur les sites industriels, les transporteurs qui le conduisent à son lieu d'élimination, et, parfois, des personnes du public l'ayant côtoyé exceptionnellement.
Pour les déchets dont le caractère radioactif n'est pas évident (cas de l'acceptation des déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations de stockage de déchets dangereux ou non dangereux), la réglementation exige des études spécifiques : déclinaison exhaustive des modes d'exposition possibles au rayonnement émis par ces déchets puis calcul de la dose engagée, c'est-à-dire de l'effet sur l'organisme, exprimé en sievert (Sv).

[I] Loi 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

À partir de quel seuil considère-t-on qu'un effet n'est plus négligeable du point de vue de la radioprotection ?

Il n'existe pas de réponse simple et générale à cette question. Les effets des faibles doses s'évaluent avec difficulté et font l'objet de débats controversés dans la communauté scientifique. Dans le cadre des études mentionnées ci-dessus, les pouvoirs publics recommandent que cet impact soit aussi bas que possible. Il doit être inférieur à une dose limite, fixée à 1 mSv (millisievert) par an et par personne, dans le cas de déchets contaminés. À titre de comparaison, en France la dose moyenne due à la radioactivité naturelle est de 2,4 mSv par an et par personne (UNSCEAR, Report 2000, Sources ans effects of ionising radiation).

Il faut préciser que la France applique de manière systématique le principe de précaution à tous les déchets comportant de la radioactivité artificielle, issus de l'industrie nucléaire. Dans ce cas, les installations (réacteurs, laboratoires, usines de traitement de combustible, etc.) sont découpées en zones dites *nucléaires* et *non nucléaires*. Les zones *nucléaires* produisent des déchets susceptibles d'être contaminés par de la radioactivité.

Les considérations précédentes montrent que la définition d'un déchet radioactif relève d'une approche au cas par cas pour les niveaux de radioactivité les plus faibles, et ne saurait se résumer par un critère simple.

Il faut préciser par ailleurs que la majorité des corps est naturellement radioactive, à des niveaux souvent très bas, voire non mesurables et que de nombreux déchets de la vie courante émettent des rayonnements sans mériter la qualification de déchet radioactif.

Certains pays ont défini des seuils dits de libération[1], exprimés en unité de radioactivité par unité de masse, mais il n'existe pas de consensus international à ce sujet. Néanmoins, la brochure RP 122 de la Commission Européenne propose, à titre indicatif, des seuils de libération, pour les radionucléides naturels comme artificiels.

La directive 96/29/EURATOM du Conseil du 13 mai 1996 a fixé des seuils, non de libération mais d'exemption, au-dessous desquels l'obligation de déclaration ou d'autorisation pour des activités humaines impliquant des sources de rayonnement n'est pas requise. Ces seuils fixés dans la directive sont de fait réglementaires et ont été transposés en droit interne français dans le code de la santé publique, article R 1333-18.

La définition d'un déchet radioactif relève d'une approche au cas par cas pour les niveaux de radioactivité les plus faibles, et ne saurait se résumer par un critère simple.

D'autres points méritent d'être mentionnés afin de bien cerner les limites de la définition d'un « déchet radioactif » :

La notion de déchets ultimes

La loi du 28 juin 2006 définit les déchets radioactifs ultimes comme « 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 Il est rappelé que la « libération » est la sortie automatique du système mis en place par les autorités compétentes, sans autorisation particulière ni contrôle ultérieur, de substances radioactives provenant d'une activité humaine elle-même sous contrôle, dès lors que le niveau de radioactivité des substances est inférieur à un seuil.

Les matières radioactives : combustible nucléaire usé et autres matières radioactives (uranium, plutonium...)

Ces substances possèdent un potentiel de valorisation et, dès lors, ne sont pas considérées comme des déchets, tant par leurs détenteurs que par les pouvoirs publics. Une matière radioactive est définie dans article L542-1-1 du code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 comme « une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement ».
Les matières en attente de valorisation restent entreposées. Dans certains cas, le traitement des matières en vue de leur valorisation peut engendrer des déchets.

Les sites contaminés par la radioactivité

Toute opération d'assainissement menée sur un site contaminé est susceptible de produire des déchets. Le chapitre 5 de ce rapport est consacré à ces sites. Les sites mentionnés dans ce chapitre sont les sites pollués avérés c'est-à-dire reconnus comme pollués par les pouvoirs publics. Leur mention dans ce chapitre ne préjuge pas du fait que des opérations d'assainissement y seront réalisées : cette décision relève, selon les cas, des pouvoirs publics ou des propriétaires, en fonction du niveau de risque estimé et de l'usage envisagé pour le site.

Les rejets autorisés sous forme liquide ou gazeuse dans l'environnement

La France les distingue des déchets solides ou destinés à être solidifiés. Les rejets liquides ou gazeux sont en général dispersés rapidement dans l'environnement. Les rejets ne relèvent pas du champ de l'Inventaire national. Une réglementation spécifique, **le décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives**, prévoit notamment que les rejets liquides et gazeux, radioactifs ou non, des installations nucléaires de base soient soumis à autorisation s'ils sont susceptibles de provoquer des pollutions, et ceci après une enquête publique. Les niveaux d'autorisation de rejets sont fixés par installation dans des arrêtés, et sont ainsi mis à la disposition du public. Des informations sur les rejets effectifs des différentes installations nucléaires, ainsi que sur les programmes de surveillance de l'environnement autour de ces installations, sont disponibles localement autour des sites ou dans les brochures d'information émises par les exploitants. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), qui instruit les demandes d'autorisation de rejets, en présente régulièrement des synthèses consultables sur son site internet www.asn.fr.
Le réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (www. mesure-radioactivite.fr) tel que défini par l'arrêté du 8 juillet 2008 (portant homologation de la décision 2008-DC-0099 de l'ASN) tient à la disposition du public l'ensemble des données collectées ainsi qu'un rapport de synthèse sur l'état radiologique de l'environnement.
De plus des associations de protection de l'environnement pratiquent également des mesures autour de certains sites. Le sujet est donc largement couvert par ailleurs, et l'information mise à disposition du public.

+ Les rejets liquides ou gazeux ne relèvent pas du champ de l'Inventaire national. Des informations sur les rejets effectifs des différentes installations nucléaires, sont disponibles localement autour des sites ou dans les brochures d'information émises par les exploitants.

1.2 la classification des déchets radioactifs et les filières de gestion correspondantes

La nature physique et chimique, le niveau et le type de radioactivité, sont autant de caractéristiques qui diffèrent d'un déchet à un autre. Chaque type de déchet appelle la mise en œuvre ou le développement de traitements et de gestions spécifiques, appropriés à la dangerosité qu'il présente et à son évolution dans le temps. Leur classification s'impose.

En France, la classification des déchets radioactifs repose principalement sur deux paramètres, le niveau du rayonnement[2] et la période de radioactivité des radionucléides présents dans le déchet. La période quantifie le temps au bout duquel l'activité initiale d'un radionucléide est divisée par deux. D'autres paramètres complètent la classification des déchets en fonction de la filière de gestion.

On distingue :

- les déchets dont les radionucléides ont une période très courte (inférieure à 100 jours) ;
- les déchets dont les principaux radionucléides ont une période courte (inférieure ou égale à 31 ans) ;
- les déchets dont les principaux radionucléides ont une période longue (supérieure à 31 ans).

Les déchets dont les radionucléides ont une période très courte sont utilisés notamment en médecine pour les besoins de diagnostic. Au bout d'un temps réduit (quelques périodes), leur niveau de radioactivité devient très faible, quel que soit le niveau initial. Ils sont ensuite éliminés dans les filières conventionnelles.

On considère en général que, leur radioactivité initiale étant faible ou moyenne, les déchets à période courte perdent leur caractère dangereux au bout de 300 ans au maximum.

La classification française comporte les catégories suivantes :

- les déchets de haute activité (HA) ;
- les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) ;
- les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) ;
- les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) ;
- les déchets de très faible activité (TFA) ;
- les déchets à vie très courte (VTC).

Cette classification amène un commentaire important : un déchet n'est pas affecté à une catégorie en fonction de son activité et de sa période mais en fonction de sa filière de gestion. Dans la majorité des cas les caractéristiques radiologiques du déchet correspondent à celles définissant la catégorie à laquelle ils sont rattachés mais il existe certains déchets qui, du fait d'autres caractéristiques (composition chimique, par exemple), relèvent d'une filière de gestion différente. Ils sont alors rattachés à la catégorie correspondant à cette filière de gestion. Plusieurs exemples sont donnés au chapitre III.

2 Les rayonnements peuvent être alpha, bêta ou gamma. Il est rappelé que le rayonnement alpha est constitué par des noyaux d'hélium ; le rayonnement bêta par des électrons ou parfois par des positons ; le rayonnement gamma par des photons de grande énergie. Ils ont des portées et une nocivité différentes.

Le tableau 1.1 représente schématiquement la classification française des déchets radioactifs. Il indique la filière de gestion à long terme, existante ou à l'étude, pour chaque catégorie de déchets. La filière correspond, soit à un stockage[3] existant, soit à un projet de stockage. Les différentes filières sont décrites de façon plus détaillée dans le paragraphe 1.4 et en annexe 3. Les entreposages, c'est-à-dire les installations recevant des déchets radioactifs de façon provisoire, ne sont pas mentionnés dans le tableau. Cette classification constitue désormais la référence française. Toutefois, il peut encore subsister des appellations plus anciennes (telles que « déchets A » pour les déchets FMA-VC, « B » pour les MA-VL, « C » pour les HA).

Tableau 1.1 : classification des déchets radioactifs par filière de gestion

Activité \ Période	Très courte durée de vie Demi-vie < 100 jours	Courte durée de vie Demi-vie ≤ 31 ans (1)	Longue durée de vie Demi-vie > 31 ans (1)
Très faible activité	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) Filières de recyclage	
Faible activité		Stockage de surface (Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité de l'Aube(2))	Stockage à faible profondeur(3) à l'étude dans le cadre de l'article 4 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs
Moyenne activité			Stockage profond(4) à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs
Haute activité		Stockage profond(4) à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs	

(1) La limite entre vie courte et vie longue est la demi-vie du césium 137, soit 30,07 ans. Le tableau mentionne la valeur entière immédiatement supérieure, par simplification.
(2) Le CSFMA a pris le relais du Centre de stockage de la Manche, fermé en 1994.
(3) À faible profondeur, soit entre la surface et 200 mètres de profondeur. La recherche de sites susceptibles d'accueillir un nouveau centre de stockage FA-VL est actuellement en cours.
(4) Stockage profond signifie « à plus de 200 mètres de profondeur ». Un projet de stockage est développé par l'Andra dans la zone de transposition de 250 kilomètres carrés définie en 2005 autour du Laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne, en vue de stocker les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (un seul stockage dans une couche argileuse (Callovo-Oxfordien) à 500 m de profondeur).

Notas :

- Les déchets tritiés ne sont pas acceptables en stockage de surface sans un traitement et un entreposage de décroissance préalables. Leur entreposage a été étudié par le CEA conformément à l'article 9 du décret du 16 avril 2008 [II], dans le cadre du projet « Entreposage des déchets tritiés sans filière » (EDTSF) dont les conclusions ont été rendues au ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT) fin 2008 (voir encadré 3.2 au chapitre 3) ;
- les procédés permettant le stockage des sources scellées dans les centres existants ou en projet ont été étudiés par l'Andra dans le cadre du PNGMDR, en application de l'article 8 du décret du 16 avril 2008[II]. Le rapport a été remis au MEEDDAT fin 2008 (voir encadré 3.1 au chapitre 3).

Caractéristiques des différentes catégories de déchets

Les déchets de haute activité (HA)

Ces déchets rassemblent, dans un volume réduit, la plus grande partie de la radioactivité des déchets et proviennent pour l'essentiel de l'industrie électronucléaire. Ils correspondent aux éléments radioactifs non valorisables issus du retraitement des combustibles usés. Ces déchets sont mélangés à une matrice de verre puis coulés dans un conteneur en inox. En raison de leur radioactivité élevée, certains de ces déchets dégagent de la chaleur.

[II] Décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

3 C'est-à-dire à une installation destinée à accueillir des déchets radioactifs de manière définitive.

Ils contiennent des produits de fission (ex : césium 134 et 137, strontium 90), des produits d'activation (ex : cobalt 60 qui décroit en quelques décennies) et des actinides mineurs (ex : curium 244 et américium 241).

Les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

Ces déchets proviennent majoritairement des structures qui entourent le combustible usé (coques et embouts) ou des résidus liés au fonctionnement des installations nucléaires (déchets issus du traitement des effluents, des équipements...). Ils se caractérisent par une présence significative de radionucléides à vie longue (ex : nickel 63).

La plupart de ces déchets HA et MA-VL sont actuellement entreposés sur les sites des usines de traitement des combustibles usés et dans les centres de recherche du CEA. Le stockage profond est étudié dans le cadre de la loi du 28 juin 2006. Le niveau de radioactivité des déchets HA se situe dans des fourchettes de plusieurs dizaines de milliards de Becquerels (Bq) par gramme. Quant aux déchets MA-VL, ils se situent en général entre un million et un milliard de Bq par gramme.

Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)

Il s'agit principalement de deux types de déchets dits «radifères» et «de graphite» :

- Les déchets radifères contiennent des radionucléides naturels dont une quantité notable de radium et/ou de thorium. Ils proviennent d'opérations de recherche et de traitement chimique de minerais. D'autres déchets radifères peuvent également provenir de l'assainissement de sites historiquement pollués au radium dont l'Andra assure la mise en sécurité au titre de sa mission d'intérêt général ;
- les déchets de graphite proviennent du démantèlement des premières centrales nucléaires et de certains réacteurs expérimentaux aujourd'hui arrêtés.

Cette catégorie comprend également d'autres types de déchets tels que les paratonnerres au radium ou à l'américium, certaines sources scellées usagées, certains bitumes anciens...

C'est le contenu en radionucléides à vie longue qui est déterminant pour ces déchets. Le niveau de radioactivité de ces déchets est en général compris :

- entre quelques dizaines de Bq et quelques milliers de Bq par gramme, pour les déchets radifères. Les radionucléides sont essentiellement des émetteurs alpha, à vie longue ;
- entre dix mille et cent mille Bq par gramme pour les déchets de graphite[4]. Les radionucléides sont essentiellement des émetteurs bêta-gamma à vie longue.

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)

Ce sont essentiellement des déchets liés à la maintenance (vêtements, outils, filtres...) et au fonctionnement des installations nucléaires (traitements d'effluents liquides ou filtration des effluents gazeux). Ils peuvent également provenir d'opérations d'assainissement et de démantèlement de telles installations.

Depuis 1992, ils sont stockés en surface, dans l'Aube (10) au Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité (CSFMA), qui a pris le relais du Centre de stockage de la Manche (CSM), fermé en 1994.

Cette filière de gestion à long terme existe depuis 1969, date à laquelle la France a renoncé à participer aux campagnes d'immersion de déchets faiblement radioactifs en mer (voir annexe 5).

Les déchets FMA-VC contiennent des radionucléides à vie courte, de période radioactive ≤ 31 ans (ex : cobalt 60, césium 137). Dans ces déchets, les radionucléides à vie longue sont strictement limités par les spécifications d'acceptation en stockage.

4 Certains déchets de graphite ont une activité supérieure à cent mille Bq par gramme mais ces déchets sont peu nombreux et cette activité ne concerne que l'ensemble des radionucléides présents dans le déchet et pas uniquement les radionucléides à vie longue.

Le niveau de radioactivité de ces déchets se situe en général entre quelques centaines de Bq et un million de Bq par gramme.
Les déchets FMA-VC contenant des quantités notables de tritium méritent une gestion spécifique. En effet, bien que le tritium soit un radioélément à vie courte, il se confine difficilement et, une fois mis en stockage, il peut facilement migrer vers l'environnement et le marquer. Ces déchets résultent en majorité des activités liées à la force de dissuasion. Conformément à l'article 9 du décret du 16 avril 2008 [II], les solutions d'entreposage de ces déchets permettant la réduction de leur radioactivité avant leur stockage en surface ou à faible profondeur, ont été étudiées par le CEA dans le cadre du projet EDTSF (Entreposage des déchets tritiés sans filière) (voir paragraphe 1.4.6). Après leur entreposage, ces déchets seront orientés vers le Centre de stockage TFA ou FMA-VC en fonction de leur radioactivité et du taux de dégazage résiduel.

Les déchets de très faible activité (TFA)

Les déchets TFA se situent entre les déchets conventionnels (article L 541 du code de l'environnement) et les déchets de faible activité (FMA-VC ou FA-VL), car il n'existe pas en France, contrairement à d'autres pays, de seuils de libération fixés à l'avance pour des déchets contenant, ou susceptibles de contenir, une quantité très faible de radioactivité (cf. sous-chapitre 1.1).
Ils proviennent essentiellement du démantèlement des installations nucléaires ou d'industries classiques utilisant des matériaux naturellement radioactifs. Ils se présentent généralement sous forme de déchets inertes (béton, gravats, terres).
Depuis 2003, ils sont stockés en surface au Centre de stockage des déchets de très faible activité situé dans l'Aube (10).
La production de déchets TFA augmentera largement avec le démantèlement à grande échelle des centrales nucléaires de production d'électricité actuellement en fonctionnement.
Le niveau de radioactivité de ces déchets est en général inférieur à 100 Bq/g. Des limites d'acceptabilité en stockage peuvent être fixées à des niveaux différenciés pour certains radionucléides.
Il faut rappeler que des déchets à vie longue, les résidus de traitement des minerais d'uranium, de niveau d'activité comparable à celui des TFA, ont été produits en quantité importante dans le passé. Ces derniers, recensés dans l'inventaire géographique de l'Inventaire national, font l'objet d'un stockage spécifique sur les anciens sites miniers de production ou à proximité et ne relèvent pas du CSTFA. On notera que, eu égard à leur niveau d'activité radiologique, certains de ces résidus de traitement s'apparentent plutôt à des déchets FA-VL.
Plus largement, l'inventaire MIMAUSA (Mémoire et impact des mines d'uranium), consultable sur le site internet du MEEDDAT (www.ecologie.gouv.fr/etat-radiologique-des-sites.html) recense de façon la plus exhaustive possible les sites sur lesquels ont été pratiquées des activités d'exploration, d'extraction ou de traitement du minerai d'uranium en France métropolitaine.
Par ailleurs, un bilan de l'impact à long terme sur la santé et sur l'environnement des sites de stockage de ces résidus miniers a été réalisé en 2008 par AREVA en application de l'article 10 du décret du 16 avril 2008[II], et remis au MEEDDAT.

[II] Décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L542-1-2 du code l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

1.3 l'origine des déchets radioactifs

Les nombreuses utilisations des propriétés de la radioactivité produisent, depuis le début du XXe siècle, des déchets radioactifs. Ils proviennent pour l'essentiel des centrales de production d'électricité, des usines de traitement des combustibles usés et des autres installations nucléaires civiles et militaires qui se sont développées au cours des dernières décennies. Les laboratoires de recherche et les services de médecine nucléaire contribuent aussi, à un degré moindre, à la production de déchets radioactifs, tout comme certaines industries utilisant des matières radioactives.

L'Inventaire national décrit l'origine des déchets radioactifs selon douze secteurs d'activités conduisant à la production, la détention ou la prise en charge de déchets radioactifs.

Le tableau 1.2 qui suit dresse la liste de ces douze secteurs d'activité. Les installations correspondantes sont décrites avec plus de détails dans le chapitre 4.

Les douze secteurs d'activité sont aussi mis en correspondance avec cinq grands secteurs économiques. Ainsi la présentation des bilans fournis par l'Inventaire national dans le chapitre 3 est-elle simplifiée.

Les deux approches, l'une par secteur d'activité à l'origine des déchets et l'autre par secteur économique, sont complémentaires même si certains secteurs d'activité concernent plusieurs secteurs économiques (voir tableau 1.3).

Par exemple, l'usine de Marcoule a, dans son histoire, traité des combustibles à usage militaire, civil ou expérimental : trois secteurs économiques sont donc concernés par l'activité correspondante (« l'aval du cycle du combustible »).

De même, le secteur d'activité des entreposages spécifiques et des stockages (secteur d'activité 12), du fait de la multiplicité d'origine des déchets accueillis par ces installations, concerne les cinq secteurs économiques (voir tableau 1.3).

Enfin, la répartition des déchets est également présentée par propriétaire au chapitre 3.

Tableau 1.2 : producteurs ou détenteurs de déchets radioactifs douze secteurs d'activité

1	AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE
2	CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ
3	AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE
4	ÉTABLISSEMENTS DE TRAITEMENT DES DÉCHETS OU DE MAINTENANCE
5	CENTRES D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE DU CEA CIVIL
6	ÉTABLISSEMENTS DE RECHERCHE, HORS CENTRES CEA : physique, chimie, recherche biomédicale
7	ACTIVITÉS MÉDICALES : diagnostic, thérapeutique, analyses
8	ACTIVITÉS INDUSTRIELLES DIVERSES : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers
9	INDUSTRIE NON NUCLÉAIRE UTILISANT DES MATÉRIAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS
10	CENTRES D'ÉTUDES, DE PRODUCTION OU D'EXPÉRIMENTATION TRAVAILLANT POUR LA FORCE DE DISSUASION
11	ÉTABLISSEMENTS DE LA DÉFENSE, DGA, SSA, ARMÉE DE TERRE/AIR/MER, GENDARMERIE
12	ENTREPOSAGES ET STOCKAGES

La catégorie 12 n'est pas réellement une « activité productrice de déchets ». Elle comprend des lieux d'entreposage et de stockage (stockages de l'Andra et « stockages historiques ») englobant des déchets de toutes origines. Même si l'exploitation de certaines des installations correspondantes peut produire des déchets radioactifs, elles sont citées dans ce rapport, essentiellement parce qu'elles constituent des lieux de regroupement.

Tableau 1.3 : secteurs d'activité et secteurs économiques à l'origine des déchets radioactifs

	Secteurs d'activité	Secteurs économiques
1	AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	• Production électronucléaire • Défense (marginal)
2	CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	• Production électronucléaire
3	AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	• Production électronucléaire • Recherche (marginal) • Défense (recherche)
4	ÉTABLISSEMENTS DE TRAITEMENT DES DÉCHETS OU DE MAINTENANCE	• Production électronucléaire • Défense (Recherche)
5	CENTRES D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE DU CEA CIVIL	• Recherche • Médical
6	ÉTABLISSEMENTS DE RECHERCHE, HORS CENTRES CEA : physique, chimie, recherche biomédicale	• Recherche • Médical
7	ACTIVITÉS MÉDICALES : diagnostic, thérapeutique, analyses	• Médical
8	ACTIVITÉS INDUSTRIELLES DIVERSES : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers	• Industrie non électronucléaire
9	INDUSTRIE NON NUCLÉAIRE UTILISANT DES MATÉRIAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS	• Industrie non électronucléaire
10	CENTRES D'ÉTUDES, DE PRODUCTION OU D'EXPÉRIMENTATION TRAVAILLANT POUR LA FORCE DE DISSUASION	• Défense
11	ÉTABLISSEMENTS DE LA DÉFENSE, DGA, SSA, ARMÉE DE TERRE/AIR/MER, GENDARMERIE	• Défense
12	ENTREPOSAGES ET STOCKAGES	• Production électronucléaire • Recherche • Médical • Défense • Industrie non électronucléaire

la gestion des déchets radioactifs

1.4

1.4.1 Les acteurs de la gestion des déchets radioactifs en 2008

La gestion des déchets radioactifs s'inscrit dans un cadre réglementaire strict, défini aux niveaux national et international. En particulier, la France est signataire de la **Convention commune sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs et des combustibles usés,** établie sous l'égide des Nations-Unies [III], qui définit des principes de gestion.

L'État a défini et mis en œuvre une politique publique volontariste en matière de déchets radioactifs, dans un cadre législatif établi en 1991 (loi du 30 décembre 1991 [IV]) et consolidé en 2006 (loi du 28 juin 2006[I]).

Conduite par la **Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC)** au sein du MEEDDAT, cette politique comporte trois piliers :

- un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) [V], mis à jour tous les trois ans par l'État et fixant un programme de recherches et de réalisations, assorti d'un calendrier ;
- des dispositions en matière d'évaluation indépendante des recherches, d'information du public et de dialogue avec l'ensemble des parties prenantes ;
- la garantie de la disponibilité des financements nécessaires : en vertu de l'article L. 110-1 du code de l'environnement, selon lequel « les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci sont supportés par le pollueur », c'est au producteur du déchet d'en financer la gestion à long terme.

Le PNGMDR se fonde sur les données de l'Inventaire national pour identifier les cas pour lesquels il n'existe pas à ce jour de filière de gestion des déchets à long terme et fixe les actions et les échéances associées pour y remédier.

La Direction générale de la prévention des risques (DGPR), au sein du MEEDDAT, intervient pour sa part sur les questions de sites pollués par la radioactivité (voir chapitre 5) et dans la définition de la réglementation applicable aux ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) incluant les centres de stockage de déchets conventionnels.

Sur les questions scientifiques de manière générale, et notamment celles relatives aux programmes nucléaires et spatiaux, le Parlement s'est doté d'un organisme d'évaluation propre, **l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST),** qui auditionne les acteurs de la gestion des déchets radioactifs et publie des rapports d'évaluation et des recommandations, consultables sur www.senat.fr/opecst.

[I] Loi 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

[III] Joint convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management, disponible sur : www-ns.iaea.org/conventions/waste-jointconvention.htm

[IV] Loi 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

[V] PNGMDR (Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs), disponible sur le site www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/pngmdr.htm

Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) est une instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires et l'impact de ces activités sur la santé des personnes, sur l'environnement et sur la sécurité nucléaire, créée par la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (loi TSN) [VI]. Les comptes-rendus et recommandations du HCTISN sont consultables sur www.hctisn.fr.

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) est un établissement public à caractère industriel et commercial créé par la loi du 30 décembre 1991. Ses missions ont été complétées par la loi du 28 juin 2006. Indépendante des producteurs de déchets radioactifs, l'Andra est placée sous la tutelle des ministères en charge de l'Énergie, de l'Environnement et de la Recherche. L'Andra est un appui privilégié de l'État pour la mise en œuvre de la politique de gestion des déchets radioactifs. L'État fixe les objectifs de l'Andra au travers d'un contrat quadriennal. Sa dernière version couvre la période 2009-2012. Il est disponible notamment sur le site internet de l'Andra www.andra.fr [VII]. L'Andra est chargée de la **gestion durable des déchets radioactifs français.** En France, la solution du stockage a été privilégiée. Le stockage intervient après traitement, et entreposage le cas échéant. L'Andra met son expertise et son savoir-faire au service de l'État pour concevoir, exploiter et surveiller des centres de stockage de déchets radioactifs, **en protégeant à long terme l'homme et l'environnement de l'impact de ces déchets.**

Sa mission est déclinée en plusieurs activités :

1/ **exploiter les deux centres de stockage existants,** dans l'Aube, dédiés aux déchets faiblement et moyennement radioactifs à vie courte (FMA-VC) et très faiblement radioactifs (TFA) ; **surveiller** le Centre de stockage de la Manche, premier centre français de stockage en surface de déchets faiblement et moyennement radioactifs, aujourd'hui fermé ;

2/ **étudier et concevoir des solutions de gestion durable** pour les déchets qui n'ont pas encore de centres de stockage dédiés :

- **le stockage à faible profondeur des déchets de faible activité à vie longue** tels que les déchets radifères et de graphite (projet FA-VL) ;
- **le stockage profond réversible des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue** (projet HA-MAVL) ;

3/ **prendre en charge les déchets radioactifs non électronucléaires** (issus des hôpitaux, laboratoires de recherche, universités...) et les objets radioactifs détenus par les particuliers (anciens objets d'horlogerie luminescents, objets au radium à usage médical, sels naturels de laboratoire, certains minéraux...). À la demande du propriétaire ou des pouvoirs publics, l'Andra assure aussi la réhabilitation d'anciens sites pollués par la radioactivité comme, par exemple, les laboratoires construits pour Marie Curie. Pour ce faire, elle s'appuie sur **la Commission nationale des aides dans le domaine radioactif (CNAR)** qui émet un avis sur l'utilisation de la subvention accordée par l'État pour les missions d'intérêt général confiées à l'Andra : traitement des sites pollués, prise en charge des déchets (voir chapitre V) ;

4/ **informer tous les publics,** notamment en publiant tous les trois ans **l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs,** contribuer à la diffusion de la culture scientifique et technique au travers de documents, d'expositions, de visites de ses installations... et diffuser son savoir-faire en France comme à l'étranger.

La Commission nationale d'évaluation (CNE), chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement et la qualité des recherches sur la gestion

L'Andra met son expertise et son savoir-faire au service de l'État pour concevoir, exploiter et surveiller des centres de stockage de déchets radioactifs, en protégeant à long terme l'homme et l'environnement de l'impact de ces déchets.

[VI] Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.

[VII] Contrat quadriennal État - Andra 2009 - 2012, disponible sur www.andra.fr

des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue, créée par la loi de décembre 1991, a été confirmée par la loi du 28 juin 2006. La Commission publie annuellement un rapport qui est transmis au Parlement qui s'en saisit [VIII]. Ce rapport est rendu public.

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) contrôle les producteurs de déchets et l'Andra, dans leurs activités nucléaires ou nécessitant des mesures de radioprotection. Elle instruit également les procédures d'autorisation des installations nucléaires de base (INB), y compris les installations de traitement et de conditionnement ou les centres de stockage de déchets radioactifs. Elle autorise à titre individuel la détention de certaines sources radioactives ou équipements utilisant des rayonnements ionisants.

Les producteurs de déchets radioactifs sont les industriels qui, dans le cadre d'activités de service ou de production (électronucléaire, recherche, défense nationale, hôpitaux, chimie...), engendrent des déchets radioactifs. Ils sont responsables de la bonne gestion de ces déchets avant leur prise en charge par l'Andra. En particulier, ils doivent définir les modes de traitement et de conditionnement des déchets (voir paragraphe 1.4.3), en fonction des technologies disponibles. Ils opèrent le conditionnement des déchets, sous des procédures strictes d'assurance qualité requises par la réglementation [IX]. Ils assurent l'entreposage des déchets qui n'ont pas de filière à ce jour. Ils sont en outre responsables du transport des autres déchets conditionnés jusqu'aux centres de l'Andra. Seules exceptions à ce principe, les « petits producteurs », tels que les laboratoires de recherche hors CEA ou les hôpitaux, pour lesquels l'Andra assure elle-même la collecte, le traitement et le conditionnement des déchets.

1.4.2 Les principes généraux de la gestion des déchets radioactifs

L'article L 541-1 du code de l'environnement pose comme principes la prévention ou la réduction de la production de déchets, la responsabilité des producteurs jusqu'à l'élimination de leurs déchets, la traçabilité et la nécessité d'informer le public. De plus, seuls les déchets ultimes, qui ne sont pas susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, peuvent trouver une solution définitive.

Pour les déchets radioactifs, le code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 indique que « la gestion durable des matières et des déchets radioactifs de toute nature, résultant notamment de l'exploitation ou du démantèlement d'installations utilisant des sources ou des matières radioactives, est assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement ».

De nombreuses dispositions sont mises en œuvre pour respecter ce cadre réglementaire :

- des dispositions concernant le traitement/conditionnement, le transport et les installations : elles sont définies par les autorités compétentes, qui en contrôlent ensuite l'application ;
- des dispositions pour réduire le volume et la nocivité des déchets à la base puis, pour les déchets produits, des opérations de tri, de traitement, de conditionnement et de détermination du contenu radiologique : elles sont définies et mises en œuvre par les producteurs de déchets. Des études de recherche et développement sont souvent nécessaires et sont menées par différents organismes dont le CEA ;

Le code de l'environnement pose comme principes la prévention ou la réduction de la production de déchets, la responsabilité des producteurs jusqu'à l'élimination de leurs déchets, la traçabilité et la nécessité d'informer le public.

[VIII] Rapports de la commission nationale d'évaluation, disponibles notamment sur www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports/index.html

[IX] Arrêté du 10 août 1984 relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base.

- la conception et la réalisation d'installations d'accueil avec le niveau de sûreté requis. Il s'agit soit d'entreposage (solution temporaire) qui relève en général des exploitants/producteurs de déchets, soit de stockage[5] (solution définitive) dont la responsabilité incombe à l'Andra (voir paragraphe 1.4.1) ;
- des opérations de transport et de mise en entreposage ou en stockage, incluant les aspects de suivi et de surveillance, y compris sur le long terme pour les stockages ;
- des dispositions destinées à informer le public.

1.4.3 Le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs

Les déchets doivent présenter des caractéristiques favorables pour leur accueil dans un entreposage ou dans un stockage. Celles-ci sont définies par l'exploitant de l'installation d'accueil, en accord avec les règles édictées par l'Autorité de sûreté nucléaire. Certaines concernent la nature des déchets ou leurs caractéristiques radioactives : par exemple, le stockage des liquides, de déchets fermentescibles, ou de matières inflammables est interdit.
D'autres caractéristiques portent sur l'objet final à accueillir, c'est-à-dire après traitement et conditionnement du déchet initial : par exemple, les dimensions, la résistance à la chute, la perméabilité...

Le traitement des déchets radioactifs consiste à transformer le déchet initial en un déchet présentant des caractéristiques plus appropriées pour sa gestion à long terme et en réduisant autant que possible son volume. ,À titre d'exemple, on peut citer : le traitement de liquides, l'incinération, la détritiation, l'immobilisation, le compactage, la vitrification et la fusion[6].
Par ailleurs, des dispositions sont nécessaires pour éviter tout risque d'irradiation ou de contamination des personnes, et toute atteinte à l'intégrité des déchets, lors de leur transport ou de leur manipulation. Sont concernés le producteur, l'exploitant du stockage et le public au sens large.
De plus les déchets doivent présenter des propriétés de confinement de la radioactivité sur des durées variables selon le type de stockage envisagé. Dans cette perspective le déchet doit, en général, avoir fait l'objet d'un conditionnement.
Le conditionnement consiste à incorporer le déchet dans un matériau permettant d'assurer une protection du déchet ou un meilleur confinement de sa radioactivité : la « matrice ». L'ensemble, matrice/déchet, est placé dans un conteneur adapté, qui peut lui aussi présenter des propriétés de rétention des éléments radioactifs.
L'intermédiaire d'**une matrice** s'impose en règle générale mais n'est pas systématique. Les déchets les plus radioactifs, ceux issus des solutions de produits de fission et d'actinides mineurs provenant des combustibles usés, sont aujourd'hui conditionnés dans des matrices de verre. Pour des déchets moyennement ou faiblement radioactifs, on utilise des matériaux à base de ciment, des résines polymères ou du bitume.
Les conteneurs sont en béton, en acier non allié (acier ordinaire) ou en acier allié (inox). Dans certains cas, les déchets ne sont pas conteneurisés avant stockage, en particulier s'ils sont de très faible activité, ou s'ils se présentent sous une forme qui permet directement de les stocker de manière sûre, comme les lingots d'acier.
Les déchets conditionnés sont appelés **colis**.

5 Certains stockages anciens dits « historiques » sont des cas particuliers. Ils sont présentés aux chapitres 3 et 4.

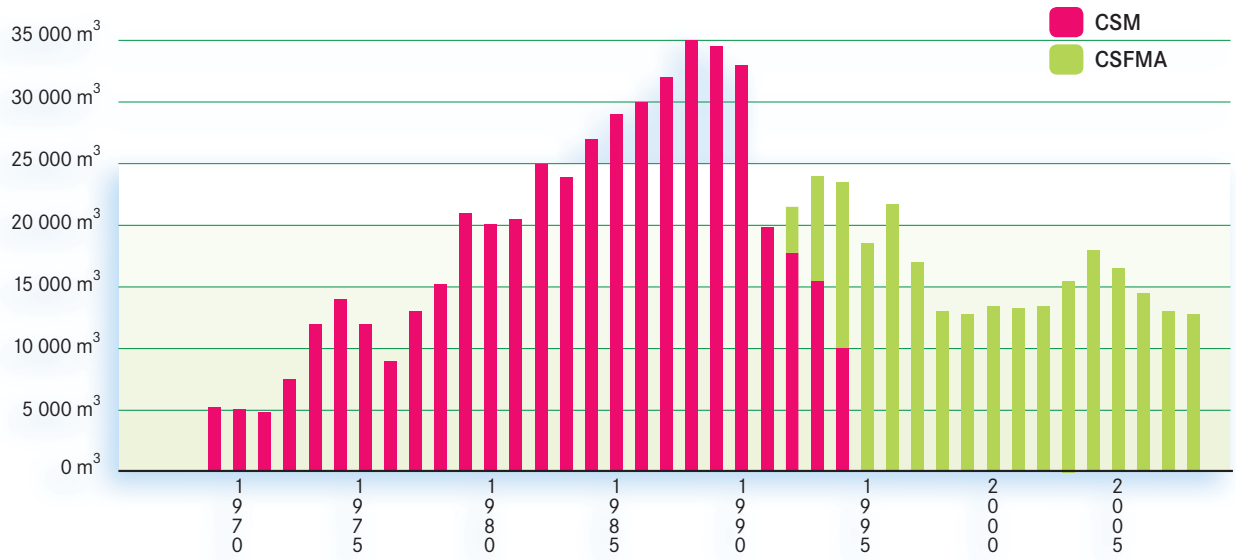
6 Les traitements de liquides sont destinés à concentrer la radioactivité dans un volume moindre (concentration par évaporation) ou à capter l'essentiel des radionucléides au moyen de réactifs chimiques. Certains déchets sont incinérés si les conditions techniques se rapportant à leur nature et à leur niveau de radioactivité sont remplies. Dans le cas de ferrailles peu massives ou des déchets comme des chiffons ou des plastiques, le traitement consiste souvent à les compacter avant de les conditionner.

Aujourd'hui, les producteurs de déchets définissent, en accord avec l'Andra et sous contrôle de l'ASN, puis mettent en œuvre les modes de conditionnement de la plupart des déchets qu'ils produisent. Les stocks non conditionnés correspondent à des « objets tampons », en attente de conditionnement.
Cependant, dans des cas particuliers qui sont décrits au chapitre 4, des déchets anciens traités selon les normes de l'époque ou entreposés en vrac dans des installations, doivent faire l'objet d'une reprise pour être selon les cas conditionnés, reconditionnés ou entreposés dans de meilleures conditions. On parle alors d'opération de reprise et conditionnement des déchets (RCD). AREVA en pratique sur le site de La Hague, le CEA sur certains de ses sites, notamment Marcoule et Cadarache. Pour les déchets MA-VL, la loi du 28 juin 2006 dispose que les déchets produits avant 2015 doivent être conditionnés avant 2030, par leurs propriétaires.

1.4.4 La réduction des volumes de déchets pour préserver les ressources rares que sont les capacités de stockage

Un des objectifs du traitement et du conditionnement est la réduction des volumes, qui s'illustre, dans le cas des déchets FMA-VC, par une baisse sensible de la quantité de déchets livrés au Centre de stockage FMA de l'Andra au cours des années 1990. (Graphique 1.1)

Graphique 1.1 : bilan des livraisons de colis de déchets au Centre de stockage de la Manche (CSM) puis au Centre de stockage FMA de l'Aube (CFSMA)



À une phase de croissance de la production des déchets, liée à la montée en puissance de l'industrie électronucléaire, succède une phase de diminution des volumes. La quantité de déchets FMA-VC produits par le parc de centrales, rapportée à la puissance électrique produite, a considérablement baissé ces dernières années puisque le volume des colis concernés est passé d'environ 80 m^3/TWh de production d'électricité en 1985, à environ 11 m^3/TWh aujourd'hui.

Cette valeur correspond à une production moyenne d'environ 75 m^3 de colis destinés au stockage en surface par tranche de réacteurs. Cette diminution des déchets solides n'a pas entraîné une hausse des rejets liquides : dans la même période, l'activité moyenne (hors tritium) des effluents liquides rejetés dans l'environnement par les centrales nucléaires était divisée par 50.

Pour les déchets MA-VL, le supercompactage, mis en œuvre par AREVA dans l'usine de La Hague, a réduit d'un facteur 4 les volumes de déchets de structures du combustible usé (voir planche illustrative). Ces déchets étaient autrefois cimentés.

Le recyclage des effluents de l'usine de La Hague et l'envoi des flux résiduels vers la vitrification contribuent à réduire fortement le flux de déchets bitumineux produits (voir planche illustrative).

Globalement, le volume annuel des déchets HA et MA-VL a été divisé d'un facteur supérieur à 6 en regard des paramètres de conception des usines de traitement. Ils passent d'un volume attendu par AREVA, lors de la conception des usines, de l'ordre de 3 m^3 à la tonne de combustible traité, à moins de 0,5 m^3 actuellement.

Ces réductions de volume ont été obtenues grâce aux recherches menées dans le domaine électronucléaire. Elles ont abouti aux actions concrètes suivantes, mises en place essentiellement dans les années 1985 à 2002 :

- réduction des déchets potentiels à la source, partage du retour d'expérience et des « bonnes pratiques » ;
- modifications apportées dans le traitement des effluents liquides, densification du conditionnement de certains déchets par regroupement et/ou précompactage. Ces améliorations ont été effectives pour les déchets issus directement de l'exploitation des réacteurs comme pour ceux provenant de leur entretien ;
- mise en service des unités de fusion et d'incinération de l'établissement CENTRACO à Marcoule ;
- arrêt des installations les plus anciennes.

En ce qui concerne les déchets TFA, la réduction de volume n'est pas encore acquise. Ces dernières années, la densité des déchets livrés et stockés au CSTFA a au contraire diminué, contrairement aux prévisions des producteurs. Le graphique 2.2 présente l'évolution des densités livrées depuis l'ouverture du Centre en 2003.

Graphique 2.2 : évolution des densités livrées au CSTFA

Exemples de filières de gestion

Les déchets vitrifiés

Dans les usines de traitement, le combustible usé est dissous, les matières valorisables en sont séparées, et le résidu est entreposé dans des cuves.

Les solutions entreposées sont ensuite calcinées, puis incorporées dans une pâte de verre en fusion, puis l'ensemble est coulé dans un conteneur, le CSD-V.

Les verres sont entreposés dans des conditions de sûreté très strictes, dans des puits ventilés qui permettent l'évacuation de la chaleur.

Le stockage profond de ces déchets est étudié dans le cadre de la loi du 28 juin 2006.

Les éléments de structure du combustible usé

La première étape du procédé de traitement des combustibles usés consiste à les cisailler et à dissoudre la matière contenue dans les éléments de structure. Ceux-ci, une fois vidés, sont toujours radioactifs et sont considérés comme des déchets. On les nomme parfois « coques et embouts ».

Autrefois cimentés, ils sont désormais compactés à l'Atelier de compactage des coques (ACC) de AREVA La Hague.

Ils sont ensuite placés dans des conteneurs en acier inoxydable (les « CSD-C ») et entreposés à La Hague.

Le stockage profond de ces déchets est étudié dans le cadre de la loi du 28 juin 2006.

Exemples de filières de gestion

Les enrobés bitumineux

Dans les usines de traitement, le procédé crée des effluents contaminés par la radioactivité qu'il faut traiter. Le traitement retenu à La Hague consiste à faire précipiter l'essentiel de la radioactivité par ajout de réactifs chimiques, ce qui forme des « boues ».

Les boues sont mélangées à du bitume (ici, l'installation STE3 à La Hague).

Les fûts d'enrobés bitumeux sont entreposés à La Hague.

Le devenir des enrobés bitumeux de La Hague est étudié dans le cadre des recherches conduites pour répondre à la loi du 28 juin 2006.

Les déchets FMA-VC : exemples des filtres EDF

Les filtres placés dans le circuit primaire des centrales d'EDF peuvent être contaminés. Ils sont régulièrement changés, et traités en tant que déchets FMA-VC.

Le conditionnement consiste à les placer dans une coque en béton qui est injectée de mortier pour immobiliser le filtre à l'intérieur. L'enrobage et la coque assurent le confinement des radioéléments. Ces coques sont ensuite livrées au Centre de stockage FMA de l'Aube, où elles sont placées dans les ouvrages de stockage.

1.4.5 Les solutions existantes pour la gestion à long terme des déchets radioactifs

- Le stockage, en surface, des **déchets de faible et moyenne activité et à vie courte**

L'objectif du stockage en surface de cette catégorie de déchets est d'isoler les produits radioactifs de l'environnement pendant le temps nécessaire à la décroissance de leur radioactivité jusqu'à des niveaux d'impact négligeable. Il existe en France deux sites de ce type : le Centre de stockage de la Manche et le Centre de stockage FMA de l'Aube. Le Centre de stockage de la Manche n'accueille plus de déchets et est en phase de surveillance, tandis que le Centre de stockage FMA de l'Aube est en activité depuis 1992.

Cette filière de gestion existante est décrite en détail en annexe 3.

- Le stockage en surface des **déchets de très faible activité**

À la demande des pouvoirs publics, l'Andra a développé une solution spécifique pour les déchets de très faible activité, inspirée, dans son principe, des centres d'enfouissement technique pour les déchets dangereux de l'industrie chimique. Le CSTFA est entré en exploitation en août 2003.

Cette filière de gestion existante est décrite en détail en annexe 3.

Le tableau suivant récapitule les solutions existantes.

Tableau 1.4

Stockages	Capacité du centre	Quantités stockées	Exemples de déchets	Remarques
Centre de stockage de la Manche	–	527 225 m³	**Déchets FMA-VC :** • Déchets solides de maintenance • Boues cimentées • Résines...	• Fermé en juin 1994 • Début de la phase de surveillance en janvier 2003
Centre de stockage FMA de l'Aube	1 000 000 m³	208 053 m³ au 31 décembre 2007	**Déchets FMA-VC :** • Déchets solides de maintenance • Boues cimentées • Résines...	Début d'exploitation en janvier 1992
Centre de stockage TFA de l'Aube	650 000 m³	89 331 m³ au 31 décembre 2007	**Déchets TFA :** • Gravats, ferrailles issus des démantèlements • Déchets industriels spéciaux...	Ouverture du Centre en août 2003

Les déchets gérés en décroissance sur place

Les déchets hospitaliers, qui contiennent des radionucléides à vie très courte utilisés à des fins de diagnostic ou thérapeutique, sont gérés sur place. Il suffit d'attendre pour que leur radioactivité décroisse pendant des durées variant de quelques jours à quelques mois. Les déchets correspondants sont alors évacués dans des filières conventionnelles. Ils ne sont plus considérés comme des déchets radioactifs.

1.4.6 Les filières à l'étude pour la gestion à long terme des déchets radioactifs

Des solutions d'entreposage pour les déchets (FMA et TFA) tritiés

La plupart des déchets tritiés sont trop actifs ou trop dégazants pour pouvoir être stockés en l'état aux centres de stockage FMA et TFA de l'Aube à cause du risque de marquage de l'environnement par le tritium, élément très mobile. Face à cette absence d'exutoire, la loi du 28 juin 2006 a chargé le CEA de « la mise au point pour le 31 décembre 2008 de solutions d'entreposage des déchets contenant du tritium permettant la réduction de leur radioactivité avant leur stockage en surface ou à faible profondeur ».
Un rapport a été élaboré par le CEA avec l'aide de l'Andra et de l'Agence Iter France. Ce rapport propose des solutions d'entreposage pour l'ensemble des déchets tritiés sans filière actuels et futurs, permettant leur décroissance avant stockage définitif. Il a été remis au Ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire le 23 décembre 2008. Il sera rendu public dans le cadre du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). Saisie par le Ministère, l'Autorité de sûreté nucléaire devrait rendre son avis sur ce rapport à l'été 2009.
Cette filière de gestion à l'étude et les conclusions du rapport sont également décrites au chapitre 3.

Un projet de stockage à faible profondeur pour les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)

La loi de programme du 28 juin 2006 charge l'Andra de mettre au point des solutions de stockage à faible profondeur pour les déchets de graphite (issus du démantèlement des réacteurs électronucléaires de première génération UNGG) et les déchets radifères. L'Andra est aussi missionnée pour étudier la possibilité de prendre en charge dans le cadre de ces solutions d'autres types de déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), notamment des sources scellées usées et des objets de faible activité au radium, thorium et uranium.
Le stockage est étudié dans une couche argileuse. La mise en service du centre de stockage à faible profondeur est envisageable à l'horizon de 2019.
Cette filière de gestion à l'étude est décrite en détail en annexe 3.

Un projet de stockage profond pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL)

La loi de programme du 28 juin 2006 charge l'Andra de mener des études et recherches pour choisir un site et concevoir un centre de stockage profond pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. La loi dispose que ce stockage sera réversible pendant une durée qui ne pourra être inférieure à 100 ans. La mise en service d'un tel centre, sous réserve de son autorisation, est prévue en 2025.
Les installations souterraines de stockage seront implantées dans une zone de 250 km^2 dite « zone de transposition » dans la formation d'argilite du Callovo-Oxfordien actuellement étudiée au moyen du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Cette filière de gestion à l'étude est décrite en détail en annexe 3.

Le tableau 1.5 suivant récapitule les filières de gestion à l'étude décrites dans le paragraphe ci-dessus.

Tableau 1.5

		Quelques exemples de déchets	Remarques	Prochaines échéances
	Déchets FMA-VC Tritiés	• Déchets solides de maintenance induits par la fabrication d'armes de la force de dissuasion	• Loi du 28 juin 2006 • Étude d'entreposages pour décroissance	Avis de l'ASN sur le dossier en 2009
FA - VL	Déchets Radifères	• « Naturel renforcé » issu d'industries non nucléaires • Produits d'assainissement de sites pollués • Objets divers	• Loi du 28 juin 2006 • Étude du stockage à faible profondeur	Mise en service industrielle du centre en 2019
FA - VL	Déchets de graphite	Chemises et empilements		
	Sources	Sources scellées usagées utilisées dans l'industrie, la recherche ou à usage médical, détecteurs de fumée, paratonnerres...	• Loi du 28 juin 2006 • Étude de leur prise en compte dans les filières de stockage existant ou en projet	Avis de l'ASN sur le dossier en 2009
	Déchets MA-VL	• Gaines de combustible • Boues de traitement d'effluents bitumées • Déchets de maintenance cimentés	• Loi du 28 juin 2006 • Étude du stockage profond	Mise en service industrielle du centre en 2025
	Déchets HA	Produits de fission et actinides mineurs vitrifiés		

1.4.7 Les cas particuliers

Certains déchets appellent des modes de gestion spécifiques :

- Les déchets qui présentent une radioactivité naturelle renforcée. Ces déchets ne sont pas le produit d'activités nucléaires, les matériaux dont ils sont issus n'ayant pas été employés pour leurs propriétés radioactives. Il s'agit notamment de déchets issus d'industries chimiques ou métallurgiques (engrais phosphatés, terres rares, sables de zircon...). La circulaire du 25 juillet 2006 [X] publiée par le MEEDDAT offre la possibilité, pour ces déchets particuliers, d'une gestion spécifique par acceptation dans un centre de stockage de déchets conventionnels. Il peut s'agir par exemple de stocker des produits de démolition d'anciennes usines, d'équipements, de résidus de procédés. La circulaire donne un cadre strict pour permettre un tel stockage dans un centre conventionnel. Les exploitants dans un centre de stockage doivent accompagner toute demande d'une étude d'impact spécifique pour le risque radiologique. Ce type d'étude est codifié ; l'étude doit ainsi être réalisée conformément au guide technique publié par le MEEDDAT et l'IRSN en 2006. L'étude d'impact doit permettre de démontrer que le stockage de ces déchets ne peut être négligé du point de vue de la radioprotection tant pour le personnel d'exploitation que pour la population voisine, y compris sur le long terme. La circulaire précise également que ce mode de gestion est réservé à des lots de déchets limités, bien identifiés et caractérisés. Les bilans périodiques, comprenant l'état des éventuels déchets à radioactivité naturelle renforcée, doivent par ailleurs être présentés aux commissions locales d'information (CLI) des centres de stockage pour la bonne information du public avoisinant. Le MEEDDAT effectue par ailleurs un suivi national du bilan de la gestion de ces déchets.
- Certains objets ne relèvent pas directement d'une des filières de gestion existantes (voir paragraphe 1.4.5) ou à l'étude (voir paragraphe 1.4.6). Parmi eux, des déchets spécifiques en faible quantité, qualifiés de mixtes car ils présentent une forte toxicité chimique ou éventuellement infectieuse, en plus de leur niveau de radioactivité (déchets contenant du mercure, par exemple). Leur devenir reste à étudier. Il s'agit également de déchets qui, en fonction d'études techniques et économiques futures, pourront rejoindre l'une des filières définies précédemment ou qui devront être gérés de manière spécifique : on peut citer les huiles, solvants, boues et distillats fortement radioactifs.

[X] Circulaire du 25 juillet 2006 BPSPR/2006-217/HA

comment construit-on l'Inventaire national ? la méthodologie

2

2.1 organisation retenue pour le recensement des matières et déchets radioactifs

2.1.1 Le nouveau contexte législatif

L'article L542-12 du code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 charge l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) « d'établir, de mettre à jour tous les trois ans et de publier l'Inventaire des matières et déchets radioactifs présents en France ainsi que leur localisation sur le territoire national, les déchets visés à l'article L542-2-1 étant listés par pays[1] ». La mission de l'Agence relative à l'information du public sur la nature et la localisation des déchets radioactifs, précédemment définie dans la loi du 30 décembre 1991, se trouve ainsi prolongée.
Le décret du Conseil d'État du 29 août 2008 [I] pris pour l'application de l'article 22 de la loi du 28 juin 2006 et un arrêté ministériel du 9 octobre 2008 [II] définissent les obligations déclaratives des producteurs et détenteurs de matières et de déchets radioactifs.
Le périmètre de l'Inventaire national 2009 est élargi par rapport aux éditions précédentes. Ainsi, viennent s'ajouter aux informations sur les déchets et les matières radioactives présentées dans les éditions 2004 et 2006 de l'Inventaire national, des informations sur les entreposages de déchets pour lesquels la solution de gestion définitive est encore à l'état de projet (voir chapitre 3 et annexe IV) demandées par le décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) [III].

2.1.2 Les principes de réalisation de l'Inventaire national

Une méthodologie stricte et des procédures rigoureuses de vérification des données sous-tendent la réalisation de l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs.

Un double objectif est poursuivi :

- recenser les déchets et les matières[2] sur le territoire français, auprès de chaque producteur ou détenteur. L'Andra accomplit ce travail de recensement depuis 1992. Initialement effectué sur la base de la libre déclaration des producteurs et détenteurs, ce travail est depuis peu réalisé dans le cadre réglementaire décrit au paragraphe précédent ;
- établir une vue synthétique des matières et des déchets présents et à venir selon des scénarios prévisionnels avec des photographies des stocks de déchets et de matières, à des dates clés. Depuis 2008, ces dates sont définies par arrêté ministériel.

[I] Décret n° 2008-875 du 29 août 2008 pris pour l'application de l'article 22 de la loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme, relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

[II] Arrêté du 9 octobre 2008 relatif à la nature des informations que les responsables d'activités nucléaires et les entreprises mentionnées à l'article L.1333-10 du code de la santé publique ont obligation d'établir, de tenir à jour et de transmettre périodiquement à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

[III] Décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

1 Déchets radioactifs issus du traitement des combustibles usés.

2 Les obligations déclaratives concernant les matières sont limitées aux exploitants d'installations nucléaires de base, à certaines installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et sont définies dans le décret du 29 août 2008 [I].

Pour l'Inventaire national 2009, les stocks de déchets existants sont établis à fin 2007, les prévisions sont établies aux horizons 2020 et 2030 selon les dates définies par un arrêté ministériel du 9 octobre 2008 [IV].

Cinq principes directeurs régissent l'élaboration de l'Inventaire national et en garantissent la fiabilité, la qualité et le caractère de référence

Disponibilité de l'information

Une mise en forme des données rendues compréhensibles pour un large public, sans abuser d'un vocabulaire technique, permet de répondre à l'exigence d'information des citoyens. Parallèlement, l'objectif est de mettre à disposition des pouvoirs publics pour l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), un inventaire réaliste, correspondant à la vision des producteurs de déchets au moment de leur déclaration.

Exhaustivité

L'Inventaire national recense les déchets existants liés aux productions récentes et actuelles, mais aussi aux productions du passé depuis le début des utilisations industrielles, de défense et médicales, des propriétés de la radioactivité. L'objectif est de présenter une « photographie » de tous les déchets présents sur le territoire français à un instant donné (à l'exclusion des rejets, voir chapitre 1, sous-chapitre 1.1), quel que soit leur état physique ou chimique, conditionnés ou non, liquides ou solides, de radioactivité forte ou faible. Le champ d'investigation du recensement ne se limite pas aux seuls stockages ou aux entreposages des déchets. Il concerne également toutes les installations possédant, même à titre provisoire, des dépôts en attente de prise en charge par l'Andra, par exemple dans les laboratoires de recherche médicale ou universitaire. Il s'étend également aux matières radioactives.

L'Inventaire national présente une image de l'ensemble des matières et des déchets radioactifs, quelle que soit leur origine.

Neutralité

L'Inventaire national retranscrit les informations recueillies de manière factuelle, sans porter de jugement sur le caractère dangereux éventuel des substances décrites.

Transparence

L'Inventaire national présente une image de l'ensemble des matières et des déchets radioactifs, quelle que soit leur origine. Cette approche se veut complémentaire des efforts de transparence, engagés depuis plusieurs années par les pouvoirs publics, les producteurs de déchets et l'Autorité de sûreté nucléaire.

Responsabilité du déclarant et validation par l'Andra de la filière de gestion

L'Inventaire national présente les données déclarées par les producteurs de déchet. Chaque producteur est donc responsable de sa déclaration. L'Andra n'a pas de pouvoir de police mais les dispositions réglementaires issues de la loi du 28 juin 2006, décrites au paragraphe 2.1.1 lui permettraient le cas échéant de faire appel à l'Administration en cas de manquement d'un producteur ou détenteur de déchets à ses obligations déclaratives. Par ailleurs, conformément à l'article 2 du décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions du PNGMDR [III], l'Andra vérifie la pertinence de la filière de gestion du déchet proposée par le producteur.

[IV] Arrêté du 9 octobre 2008 relatif aux informations à transmettre à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs en vue de l'édition 2009 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs.

2.1.3 Le rôle du comité de pilotage dans la préparation de l'Inventaire national

Un comité de pilotage, présidé par la directrice générale de l'Andra et composé de membres extérieurs à l'Agence, préside à l'élaboration de l'Inventaire national. Ce comité de pilotage est constitué :

- de représentants des administrations concernées (Direction générale de l'énergie et du climat [DGEC] et Direction générale de la prévention des risques [DGPR] du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire [MEEDDAT]) ;
- d'un représentant de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) ;
- de représentants des principaux producteurs de déchets (électronucléaire et hors électronucléaire) ;
- d'un représentant de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) à titre d'observateur ;
- d'un représentant de la Commission nationale d'évaluation (CNE, voir paragraphe 1.4.1), à titre d'observateur.

Le comité de pilotage valide la cohérence d'ensemble des volumes de déchets et de matières existants et futurs présentés dans l'Inventaire national ainsi que les hypothèses retenues dans le cadre des scénarios prévisionnels (la difficulté essentielle tient aux évolutions possibles de stratégie des différents acteurs et de l'instruction des dossiers techniques correspondants). La restitution des données dans l'Inventaire national est également validée par le comité de pilotage.

2.2 le recensement des déchets radioactifs existants

L'Andra occupe une position privilégiée pour la mission de recensement qui lui est confiée par le code de l'environnement, du fait de sa connaissance des déchets, des sites producteurs et des filières de gestion. L'information recueillie est corrélée avec les différentes autres sources dont dispose l'Agence.

2.2.1 Les sites sur lesquels sont entreposés ou stockés des déchets

Ces sites sont présentés par région administrative dans un volume séparé (Inventaire géographique) dont ce rapport exploite les données.

Les sites qui produisent, traitent, conditionnent et entreposent des déchets radioactifs, exploités par les producteurs et détenteurs de déchets les plus importants, sont présentés dans des fiches.

Sont également présentés en fiches :
- les sites de stockage de l'Andra (voir sous-chapitre 4.12) ;
- les sites pollués par la radioactivité, assainis ou en cours d'assainissement et sur lesquels sont entreposés des déchets (voir chapitre 5) ;
- les anciens sites miniers sur lesquels sont stockés sur place et de façon définitive des résidus de traitement des minerais d'uranium (voir chapitre 3 et sous-chapitre 4.1) ;
- les sites de stockages historiques (voir chapitre 3 et sous-chapitre 4.12).

Les sites des producteurs du nucléaire diffus encore appelés « petits producteurs » sont présentés en tableaux.

Les sites sur lesquels sont entreposés ou stockés des déchets, déjà recensés : l'actualisation des données

L'actualisation des données est effectuée par les exploitants des sites selon les principes décrits au paragraphe 2.1.2.
Il faut noter que, pour le cas particulier des sites pollués[3], l'interlocuteur n'est pas toujours un industriel identifié ; il s'agit souvent d'une personne physique, voire d'une collectivité ou encore d'une structure de gestion de faillite si l'industriel a abandonné le site. Les sites pollués à responsable défaillant sont gérés par l'Andra dans le cadre de sa mission d'intérêt général. C'est donc l'Agence qui effectue la déclaration le cas échéant.

3 Sites pollués reconnus comme tels par les pouvoirs publics.

L'identification des nouveaux sites

Les obligations déclaratives des producteurs ou détenteurs de déchets, décrites au paragraphe 2.1.1, ne dispensent toutefois pas l'Agence de veiller à l'exhaustivité de son recensement en recoupant diverses sources d'information. Lorsque la présence de déchets radioactifs est avérée sur des sites non encore répertoriés, ils intègrent l'Inventaire national lors de la mise à jour suivante.

Trois domaines, ne relevant pas des producteurs institutionnels, réclament une attention particulière.

Les « petits producteurs » du domaine hospitalo-universitaire

Nombreux, géographiquement dispersés et ne produisant pas de déchets radioactifs de façon constante, ils sont difficiles à identifier. De nouveaux détenteurs peuvent donc apparaître à chaque inventaire, d'autres disparaître. Pour cet Inventaire national, des contacts ont été pris pour la recherche publique avec les 12 administrateurs délégués régionaux de l'INSERM, avec les 19 délégations régionales du CNRS et les 22 centres de recherche régionaux de l'INRA. Cette démarche a permis l'identification d'un nombre notable de petits producteurs jusqu'alors non recensés.

Certaines friches industrielles, anciennes ou oubliées

Les études de risques réalisées sur les anciens sites industriels, les enquêtes historiques sur certaines activités industrielles plus ou moins anciennes ou tout simplement le hasard, peuvent mettre en évidence la présence de radionucléides. Des sites méconnus, contaminés par du radium, ont ainsi été répertoriés il y a quelques années grâce à des investigations sur les industries qui utilisaient ce radioélément au début du XXe siècle.
Dans le cadre de la circulaire interministérielle du 17 novembre 2008 relative aux missions d'intérêt général de l'Andra et à la prise en charge de certains déchets radioactifs et de sites de pollution radioactive, les Directions régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) peuvent également porter à la connaissance de l'Andra des informations susceptibles de compléter ou de préciser le recensement des sites pollués. Après un « lever de doute », ces sites sont pris en charge par l'Andra dans le cadre de sa mission d'intérêt général. Ces sites sont alors répertoriés dans l'Inventaire national (voir chapitre V). Les sites sur lesquels des déchets sont entreposés font l'objet d'une fiche dans l'Inventaire géographique.

Les industries non nucléaires engendrant des déchets radioactifs

Cette catégorie recouvre une grande variété de producteurs (activités liées à la chimie, à la métallurgie ou à la production d'énergie), dont les déchets présentent parfois des niveaux faibles de radioactivité. Le domaine est mieux cerné depuis une quinzaine d'années. Leur recensement s'améliore au fil des éditions de l'Inventaire national.

Les obligations déclaratives des producteurs ne dispensent pas l'Agence de veiller à l'exhaustivité de son recensement en recoupant diverses sources d'information.

2.2.2 L'inventaire national peut-il prétendre à l'exhaustivité ?

Depuis 1993, grâce aux actualisations successives des recensements, la localisation des déchets et certaines de leurs caractéristiques ont été précisées et complétées dans chaque secteur, les producteurs eux-mêmes progressant dans la connaissance de leurs déchets.

La question de l'exhaustivité se pose à deux niveaux : la localisation des sites sur lesquels se trouvent des déchets radioactifs et les quantités et nature des déchets décrits sur les sites répertoriés.

Un producteur peut oublier un déchet au moment de sa déclaration. Cependant, comme les producteurs les plus importants déclarent également leurs stocks de déchets à l'Autorité de sûreté nucléaire, ce risque d'oubli est limité. Les deux déclarations sont en général comparées par le producteur, ou établies conjointement. De plus, l'Autorité de sûreté nucléaire effectue régulièrement des vérifications sur site des déclarations qui lui sont faites.

Dans le cas d'AREVA, les stocks de déchets sont également audités par un organisme mandaté par ses clients.

Au fil des éditions, certaines installations ne sont plus recensées car elles ne contiennent plus de déchets radioactifs (sites démantelés et assainis). *A contrario,* de nouvelles installations productrices de déchets, apparaissent. Depuis une quinzaine d'années, l'Inventaire national a progressé dans la prise en compte des déchets de la Défense et dans le recensement des installations du cycle de combustible et des installations de recherche.

Le caractère réglementaire des déclarations à partir de 2008 a contribué à accroître l'exhaustivité des données déclarées pour la présente édition de l'Inventaire national[4]. Par ailleurs, les incidents sur le site du Tricastin de l'été 2008 ont conduit le ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire à saisir le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) nouvellement créé (voir paragraphe 1.4.1). À la suite de cette saisine, les informations concernant certains sites[5] présentés dans l'Inventaire national ont été précisées.

Toutefois, il existe nécessairement des détenteurs potentiels de déchets radioactifs qui ne se sont jamais adressés à l'Andra[6], ou des sites pollués par la radioactivité non encore répertoriés[7]. Plusieurs campagnes de collecte d'objets radioactifs ont déjà été menées par l'Andra, l'IRSN et les pouvoirs publics. Des enquêtes historiques ont été conduites pour identifier les sites potentiellement contaminés par la radioactivité et oubliés au cours du temps. Par ailleurs, parmi les recommandations émises par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire dans le cadre de la saisine du ministre d'État [V], figure la recommandation numéro 15 : « Le Haut Comité recommande que le site BASIAS développé par le ministère en charge de l'écologie relatif aux anciennes industries ou activités de service, soit étendu aux sites industriels susceptibles d'être concernés par des pollutions de nature radioactive ». La mise en œuvre de cette recommandation pourra conduire à de nouvelles enquêtes historiques. Après la réalisation d'un « lever de doute », certains sites pourraient rejoindre l'Inventaire national.

Il reste encore qu'il est très difficile de garantir la complétude du recensement pour certains secteurs d'activité mentionnés au paragraphe 2.2.1 (hospitaliers, industries non nucléaires...), à la fois en termes de localisation et de présence effective de déchets sur les sites répertoriés.

Enfin, comme on l'a vu au chapitre 1, la notion même de « déchet radioactif » est sujette à interprétation pour certains déchets présentant des niveaux de radioactivité très bas. L'Inventaire national tente cependant d'être le plus complet possible.

La question de l'exhaustivité se pose à deux niveaux : la localisation des sites sur lesquels se trouvent des déchets radioactifs et les quantités et nature des déchets décrits sur les sites répertoriés.

[V] « Avis sur le suivi radioécologique des eaux autour des installations nucléaires et sur la gestion des anciens sites d'entreposage de déchets radioactifs – 18 recommandations pour améliorer l'information, la transparence et la concertation avec les parties prenantes... » consultable sur le site www.developpement-durable.gouv.fr ou www.hctisn.fr

4 Un recensement plus complet est observé pour certains sites et 11 nouveaux sites sur lesquels se trouvent des quantités significatives de déchets (sites faisant l'objet d'une fiche dans l'Inventaire géographique) ont été recensés pour cette édition [parallèlement, 7 sites sur lesquels ne se trouvaient plus de déchets fin 2007 ont été retirés de l'Inventaire géographique].

5 Il s'agit des sites de « stockages historiques » présentés au chapitre 3 et au chapitre 4.12.

6 Les dispositions réglementaires de 2008 devraient limiter ce type de détenteur.

7 Comme déjà indiqué dans ce chapitre, les sites pollués par la radioactivité sont intégrés à l'Inventaire national après la réalisation d'un « lever de doute » par les autorités compétentes.

la comptabilisation et la prospective des déchets

2.3

2.3.1 Le regroupement des déchets par famille

Le recensement effectué selon les principes précédents conduit à un nombre élevé de déchets déclarés.
Les déchets ont été regroupés par famille, par souci de simplification et pour bâtir les prévisions.
Une famille se définit comme un ensemble de déchets ayant des caractéristiques analogues en regard des critères choisis pour leur regroupement.
Les critères suivants ont permis de retenir plus d'une centaine de familles pour l'Inventaire national 2009 :

- **la catégorie du déchet au sein de la classification des déchets radioactifs par filière de gestion,** depuis la très faible activité jusqu'à la haute activité (voir paragraphe 1.2) ;
- **l'activité industrielle à l'origine de la production du colis de déchets :** (voir paragraphe 1.3) ;
- **la nature et les caractéristiques physiques et chimiques du déchet brut avant conditionnement :** produits de fission et actinides mineurs, structures des assemblages de combustibles (gaines, embouts), résines d'épuration d'eau, boues ou concentrats, déchets solides de maintenance... ;
- **l'état de la production du déchet brut et du colis,** trois états étant définis pour les déchets comme pour les colis :
  - déchet production terminée, déchet en cours de production, déchet production non démarrée ;
  - colis production arrêtée, colis en cours de production, colis production non démarrée.
- **le mode de conditionnement réel ou prévu,** en particulier le matériau de la matrice et du conteneur (voir paragraphe 1.4.3) ;
- **L'état du conditionnement :**
  - le déchet peut se présenter sous trois formes : non conditionné, préconditionné ou conditionné ;
  - le déchet préconditionné a reçu un traitement/conditionnement partiel qui s'intègrera au colis final ;
  - le déchet est qualifié de conditionné quand il est intégré à un colis (voir paragraphe 1.4.3).

Les volumes de déchets dans l'Inventaire national sont, à cet égard, présentés en « m^3 équivalent conditionnés » et correspondent à :

- un conditionnement en colis primaire (*i.e.* sans colis de stockage) pour les déchets relevant des catégories HA, MA-VL et FA-VL radifères ;
- un conditionnement en colis directement stockable pour les déchets relevant des catégories FA-VL graphite, FMA-VC et TFA.

La plupart des pays a également adopté une démarche d'inventaire avec une classification des déchets par famille. Mais le niveau de détail retenu diffère d'un pays à l'autre. Ici, l'Inventaire national a voulu réaliser le meilleur compromis entre les extrêmes. Un nombre plus important de familles aurait certes permis de décrire finement les déchets radioactifs, mais aurait conduit à une lecture difficile. Un nombre plus réduit aurait eu l'inconvénient d'offrir une vision macroscopique, avec des difficultés de traçabilité entre la comptabilité des producteurs-détenteurs de déchets et celle de l'Inventaire national.
La description détaillée de chaque famille de l'Inventaire national fait l'objet d'un volume séparé dont ce rapport exploite les données : le Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs.

2.3.2 L'établissement des bilans de déchets existants

Les déchets existants sont ainsi présentés par famille dans le Catalogue des familles. Dans le présent rapport, des bilans par catégorie de la classification des déchets radioactifs existants par filière de gestion, par secteur économique, par propriétaire sont présentés au chapitre 3. Le chapitre 4 propose également des bilans par secteur d'activité.

2.3.3 Les prévisions de production des déchets radioactifs

Les prévisions à fin 2020 et fin 2030

Des prévisions de production de déchets radioactifs ont été effectuées pour les jalons temporels de 2020 et 2030 (voir paragraphe 2.1.2).
Elles sont fondées sur un scénario de production à l'échelle du secteur électronucléaire dans son ensemble (les hypothèses sur lesquelles repose ce scénario sont décrites au chapitre 3) et des hypothèses spécifiques à chaque secteur d'activité. En effet, les natures et les volumes de déchets radioactifs produits par l'industrie électronucléaire ne peuvent être évalués sans hypothèses préalables sur la consommation électrique future, l'avenir des centrales nucléaires, la politique de traitement des combustibles usés... L'Inventaire national présentant tous les déchets (qu'ils soient ou non déjà conditionnés) en « volume équivalent conditionné » (voir paragraphe 2.3.1), des hypothèses sur les modes de conditionnement sont également nécessaires pour quantifier ces prévisions.
Ces prévisions sont présentées par famille dans le Catalogue des familles. Des bilans par catégorie de la classification des déchets radioactifs par filière de gestion et par secteur économique sont présentés au chapitre 3. Le chapitre 4 propose également des bilans par secteur d'activité.

Pourquoi 2020 et 2030 ? Et au-delà ?

La date de 2020 s'était imposée pour les inventaires précédents (Inventaire national 2004 et Inventaire national 2006) car elle correspondait à une échéance possible pour l'arrêt des premières centrales électronucléaires du parc actuel dont la mise en service industriel a eu lieu pour l'essentiel, entre 1980 et 1990. EDF estime qu'une durée de vie de 40 ans est aujourd'hui acquise d'un point de vue technique, grâce aux actions et moyens de recherche et développement engagés, notamment vis-à-

La plupart des pays a également adopté une démarche d'inventaire avec une classification des déchets par famille. Mais le niveau de détail retenu diffère d'un pays à l'autre.

vis des comportements à long terme des matériaux, et à la politique de maintenance et d'investissements qui s'adapte pour mieux prendre en compte le risque et la connaissance des phénomènes de vieillissement. Toutefois, l'exploitation par EDF des tranches nucléaires pendant une durée de 40 ans, voire au-delà comme aux États-Unis pour des installations de technologie similaire, reste soumise à l'accord des autorités compétentes, en particulier lors des examens approfondis de sûreté de périodicité décennale. Cette hypothèse d'exploitation uniforme de 40 ans est également celle retenue pour le calcul des incidences comptables liées à la durée de vie du parc nucléaire (dotations aux amortissements pour actifs immobilisés, provisions...).

Cette date de 2020 a été conservée comme « photographie » intermédiaire dans le présent Inventaire national.

Au-delà de cette date, les matières et déchets produits par les cycles futurs dépendront fortement des choix politiques et énergétiques à venir. Ces choix porteront notamment sur l'importance et la nature d'un éventuel renouvellement du parc électronucléaire (les plus anciennes centrales nucléaires de production électrique atteindront 40 ans à partir de 2017). Ils porteront également sur l'aval du cycle du combustible nucléaire. Le scénario retenu dans le cadre de l'Inventaire national 2009 pour évaluer les déchets par famille au-delà de 2020 est un scénario de poursuite de la production électronucléaire. Il est décrit en détail au chapitre 3.

Au-delà de 2020, les matières et déchets produits par les cycles futurs dépendront fortement des choix politiques et énergétiques à venir.

La date de 2030 a été retenue en lien avec l'article 7 de la loi du 28 juin 2006 qui demande que « les propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 les conditionnent au plus tard en 2030 ». Dans un souci d'homogénéité, les dates de 2020 et 2030 ont été choisies pour évaluer les déchets radioactifs issus de l'ensemble des secteurs de production : non seulement du secteur électronucléaire mais également de la Recherche, de la Défense et des industries non nucléaires.

Au-delà de 2030, l'Inventaire national 2009 présente, comme l'Inventaire national précédent, une estimation des déchets « engagés », en d'autres termes, une estimation de la quantité totale de déchets produits par les installations actuelles jusqu'à leur fin de vie, démantèlements compris. Comme déjà évoqué, ce type d'estimation est dépendant de la politique énergétique de la France à l'issue de la fin de vie du parc électronucléaire actuel. L'Inventaire a procédé à des estimations avec deux types d'hypothèses : une première consistant à envisager l'arrêt de l'électronucléaire et donc le non renouvellement du parc, une deuxième prenant en compte au contraire un renouvellement complet des centrales. Il ne s'agit là que de deux scénarios possibles parmi de nombreuses variantes. Les évaluations sont donc à comprendre comme des ordres de grandeur. Ces estimations ainsi que les scénarios qui les sous-tendent sont présentés au chapitre 3 et en détail dans l'annexe 2.

Le comité de pilotage de l'Inventaire national a validé l'ensemble de cette approche ainsi que les scénarios et les principales hypothèses.

2.4 le recensement des matières radioactives

L'Inventaire national, conformément à l'article L542-12 du code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 effectue un recensement des matières radioactives.

Pour nombre d'entre elles, ces substances contiennent des matières dites « matières nucléaires », c'est-à-dire des éléments radioactifs qui sont inventoriés par la France dans le cadre de ses engagements vis-à-vis de la non-prolifération des matières militairement sensibles (uranium, plutonium, etc.). Les masses de ces matières nucléaires sont suivies par chaque exploitant dans le cadre de la « comptabilité des matières nucléaires » : celle-ci est régulièrement contrôlée tant par les autorités françaises que par celles de l'Union européenne dans le cadre du traité EURATOM. L'Inventaire national n'a pas pour objectif de se substituer à cette comptabilité, qui reste confidentielle. Il présente simplement des chiffres globaux, sans prétendre atteindre le même niveau de détail que la comptabilité précitée. Comme pour les déchets, les évaluations de stocks et les prévisions de production sont issues des déclarations des producteurs.

Cette approche répond aux objectifs du PNGMDR. En effet, certaines de ces substances pourraient à terme devenir des déchets si les pouvoirs publics ou les détenteurs en venaient à estimer leur recyclage non judicieux ; d'autres, en cas d'éventuels traitements complémentaires, pourraient produire des déchets. À cet égard, il a été demandé dans le décret du 16 avril 2008 [III] fixant les prescriptions du PNGMDR que « les propriétaires de matières valorisables pour lesquelles les procédés de valorisation n'ont jamais été mis en œuvre remettent au plus tard 31 décembre 2008, aux ministres chargés de l'Énergie et de l'Environnement, ainsi qu'à l'Andra, un bilan des études sur les procédés de valorisation qu'ils envisagent ». Ces bilans ont été remis fin 2008. L'objectif de ces études est le cas échéant de requalifier en déchets certaines matières dans la prochaine mise à jour de l'Inventaire national et du PNGMDR.

[III] Décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

2.5 la gestion informatique des données

Les déclarations des producteurs et détenteurs de déchets sont, depuis 2008, effectuées par Internet. La mise en place de la télédéclaration constitue un progrès notable dans la transmission des informations jusqu'alors obtenue par échange de fichiers informatiques avec les principaux producteurs, par échange de courrier ou fax pour les producteurs du nucléaire diffus. L'interrogation par Internet 2008 a été effective pour les principaux producteurs ; elle est progressivement mise en place pour les producteurs du nucléaire diffus.

Une fois contrôlées par l'Andra, les données, télédéclarées ou non, sont introduites dans une base de données informatisée. Cette base permet de réaliser les bilans présentés aux paragraphes 2.3.2 et 2.3.3.

2.6 les outils de vérification de l'Inventaire national

Des procédures strictes de recensement, de vérification et de publication des données permettent de garantir un Inventaire national de qualité, rigoureux et fiable.

2.6.1 La vérification des données des stocks à la fin 2007

Des déclarations effectuées par différents types de producteurs :

Pour les grands industriels du nucléaire (EDF, AREVA, CEA), organismes qui gérant plusieurs sites. Chaque site dispose de correspondants qui connaissent bien l'état des stocks et effectuent les déclarations. Elles sont ensuite vérifiées puis validées au niveau de chaque organisme. La fiabilité des déclarations repose sur des systèmes de contrôles internes chez le producteur (systèmes de vérification et de validation, relectures de cohérence).

Pour un industriel ou un laboratoire produisant des déchets radioactifs dans un autre cadre.
Dans de nombreux cas, ces industriels s'adressent déjà à l'Andra pour l'évacuation de leurs déchets. L'Andra entretient des relations directes avec des correspondants sur chaque site.

Pour un site d'entreposage ou de stockage de déchets.
De tels sites sont des installations nucléaires de base (INB) ou des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Dans tous les cas, elles sont réglementairement tenues de conserver la traçabilité des déchets reçus et d'effectuer des déclarations aux autorités compétentes. Leurs inventaires sont donc connus et maîtrisés.

Pour un site pollué par de la radioactivité.
Participer aux opérations d'assainissement de sites pollués à la demande de l'autorité préfectorale relève des missions de l'Andra. La connaissance des sites dont elle a la charge lui permet d'établir elle-même les déclarations les plus fiables possibles. Pour les autres sites, l'Agence s'adresse au propriétaire du site ou à l'organisme chargé de son assainissement.

L'ensemble des déclarations est vérifié puis validé par l'Andra

Chaque donnée déclarée est vérifiée par l'Andra (comparaison avec la déclaration précédente, contrôle de cohérence, recoupements avec d'éventuelles autres sources, analyse de la filière de gestion retenue par le producteur pour les déchets). Les données sont ensuite, le cas échéant après échanges avec le producteur et reprise des déclarations, validées par l'Andra.
L'Andra est certifiée ISO 9001, norme internationale dans le domaine de la qualité.

Les données sont soumises au comité de pilotage de l'Inventaire national

Comme indiqué au paragraphe 2.1.3, le comité de pilotage valide la cohérence d'ensemble des volumes relatifs aux déchets et matières.

2.6.2 La vérification des scénarios et des hypothèses

Dans la mesure où elles concernent le futur, les prévisions et les hypothèses qui figurent dans l'Inventaire national (prévisions sur les modes de conditionnement, sur les quantités produites dans le futur, sur les évolutions des modes de production de déchets radioactifs) ne peuvent être « vérifiées » au sens propre. Et il existe d'autres jeux d'hypothèses et de prévisions aussi valables.
En dépit de cette difficulté majeure, certaines dispositions garantissent que les hypothèses énoncées sont crédibles :

- les scénarios retenus sont partagés par les différents acteurs de la gestion des déchets ;
- toutes ces hypothèses ont été soumises au préalable au comité de pilotage de l'Inventaire national.

2.6.3 Les autres types d'informations

L'Inventaire national comporte également des données à caractère descriptif sur les colis de déchets, notamment dans le Catalogue rassemblant les fiches familles (volumes, radioactivité, composition chimique...). Ces données sont issues des documents techniques des producteurs, ou d'informations disponibles à l'Andra. Elles ont été relues par les producteurs concernés. D'un caractère illustratif, elles sont destinées à donner au lecteur une bonne vision des caractéristiques principales des déchets. Elles sont susceptibles d'évoluer, ou d'être complétées au fur et à mesure des éditions de l'Inventaire national.
Enfin, des informations sur les entreposages de déchets actuellement sans filière industrielle sont présentées pour la première fois dans cette édition (voir paragraphe 2.1.1). Les informations recueillies par l'Andra dans le cadre de sa surveillance des colis de déchets lui permettent d'apprécier la pertinence des informations qui lui sont déclarées sur ce sujet. Les informations sur les entreposages sont présentées au chapitre 3 et dans l'annexe 4.

les résultats généraux

Au total, 1 121 sites sur lesquels se trouvent des déchets radioactifs à fin 2007 sont répertoriés dans l'Inventaire national 2009.

Des régimes administratifs précis (installations nucléaires de base, installations nucléaires de base secrètes, installations classées pour la protection de l'environnement...) régissent la plupart des installations des producteurs-détenteurs de déchets radioactifs.

Plus de 90% de la radioactivité est concentrée sur les sites de La Hague et, dans une moindre mesure, de Marcoule. Les producteurs du nucléaire diffus encore appelés « petits producteurs », malgré leur multiplicité, ne représentent qu'une fraction réduite de la radioactivité présente en France.

Le détail des sites recensés se trouve dans l'Inventaire géographique, disponible séparément. Une description succincte des sites les plus notables, ainsi qu'une carte présentant la répartition des sites, pour chaque activité, région par région, est fournie au chapitre 4 du présent rapport.

La suite de ce chapitre offre une vision globale quantitative par filière de gestion (voir sous-chapitre 1.2), des déchets existants à fin 2007 et des déchets qui seront produits aux échéances de 2020 et 2030 (voir sous-chapitre 2.3).

Une comptabilisation des déchets à ces différentes dates, par secteur de l'économie qui en sont à l'origine, est également présentée. À fin 2007, les stocks de déchets existants sont répartis par propriétaire.

Les prévisions sont fondées sur un scénario de poursuite de la production électronucléaire (décrit au paragraphe 3.2) et sur des hypothèses spécifiques à chaque secteur d'activité (détaillées au chapitre 4). Seuls les déchets correspondants à l'exploitation et au démantèlement des installations existantes ou « engagées »[1] à fin 2007, sont évalués.

Dans la seconde partie de ce chapitre, le recensement des matières radioactives aux échéances précédentes est également présenté.

3.1 les déchets radioactifs

Les stocks répertoriés au 31 décembre 2007 comportent à la fois des déchets conditionnés et des déchets non conditionnés sous leur forme définitive. Ces derniers ont été en majorité produits dans les années 1950 à 1970, et proviennent des producteurs de l'électronucléaire. Certains ont bénéficié d'un premier conditionnement, mais il est souvent nécessaire de les reprendre et de les reconditionner, compte tenu des standards actuels.

L'unité adoptée pour effectuer les bilans est le « volume équivalent conditionné » (voir chapitre 2). Cela permet d'utiliser une unité de compte homogène pour l'ensemble des déchets. Les prévisions adoptent, elles aussi, le « volume équivalent conditionné » comme unité.

Les bilans proposés dans ce chapitre concernent l'ensemble des déchets radioactifs produits ou futurs relevant des 12 secteurs d'activité définis pour l'Inventaire national (sous-chapitre 1.3).

Le nombre de sites recensés à fin 2007 pour chacun de ces secteurs d'activité est présenté dans le tableau 3.1.

1 Décret d'autorisation de création signé à fin 2007.

Tableau 3.1 : nombre de sites[2] identifiés dans l'Inventaire national (Inventaire géographique), par secteur d'activité

AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	31
CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	26
AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	4
ÉTABLISSEMENTS DE TRAITEMENT DES DÉCHETS OU DE MAINTENANCE	8
CENTRES D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE DU CEA CIVIL	13
ÉTABLISSEMENTS DE RECHERCHE (HORS CEA)	569
ACTIVITÉS MÉDICALES	264
ACTIVITÉS INDUSTRIELLES DIVERSES	42
INDUSTRIE NON NUCLÉAIRE UTILISANT DES MATÉRIAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS	14
CENTRES D'ÉTUDES, DE PRODUCTION ET D'EXPÉRIMENTATION DE LA FORCE DE DISSUASION	11
ÉTABLISSEMENTS DE LA DÉFENSE	106
ENTREPOSAGES ET STOCKAGES	33

Ne sont pas pris en compte dans les bilans :

- les **résidus de traitement de minerais d'uranium** (voir sous-chapitre 4.1) qui sont stockés sur certains anciens sites miniers[3]. L'Inventaire national recense 19 sites auxquels s'ajoute le site des bassins de l'usine de COMURHEX Malvési, soit au total 20 sites sur lesquels sont stockés sur place et de façon définitive ces résidus[4].
- les **déchets en « stockage historique ».**

La plupart des déchets se trouvant sur ces sites sont rattachés au secteur d'activité « entreposage, stockage » (voir sous-chapitre 4.12).

Sont désignés sous l'appellation « stockages historiques », les sites de stockage (hors sites miniers) où se trouvent des déchets qui ne sont pas sous la responsabilité de l'Andra.

On distingue :

- des sites correspondant à des centres de stockage de déchets conventionnels (douze sites) ayant reçu régulièrement ou occasionnellement des déchets comportant de la radioactivité qui avoisine dans de nombreux cas quelques Bq/g. Ces sites sont présentés dans l'Inventaire géographique pour la plupart sous l'appellation « installation de stockage de déchets dangereux » ou « installation de stockage de déchets non dangereux », conformément aux arrêtés du 30 décembre 2002 et du 19 janvier 2006. Ils étaient auparavant présentés sous l'appellation « décharge » ou « centre d'enfouissement technique ». Ces sites se trouvent sur les communes suivantes :
  - Angervilliers dans l'Essonne (91) ;
  - Bailleau-Armenonville dans l'Eure-et-Loir (28) ;
  - Bellegarde dans le Gard (30) ;
  - Champteusse-sur-Baconne dans le Maine-et-Loire (49) ;
  - Freney (Les Teppes) en Savoie (73) ;
  - Menneville dans le Pas-de-Calais (62) ;
  - Monteux dans le Vaucluse (84) ;
  - Pontailler-sur-Saône en Côte-d'Or (21) ;
  - Saint-Paul-lès-Romans dans la Drôme (26) ;

2 Dans l'Inventaire géographique, ces sites sont présentés en fiches pour les plus importants, en tableaux pour les autres.

3 L'inventaire MIMAUSA (Mémoire et impact des mines d'uranium), consultable sur le site internet du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (www.ecologie.gouv.fr/etat-radiologique-des-sites.html) recense de façon la plus exhaustive possible les sites sur lesquels ont été pratiquées des activités d'exploration, d'extraction ou de traitement du minerai d'uranium en France métropolitaine.

4 Pour certains de ces sites, les déchets stockés sur place ne sont pas à proprement parler des résidus de traitement de minerais d'uranium mais des déchets très faiblement actifs liés à l'usage et au démantèlement des installations de l'amont du cycle, ces sites ayant été utilisés dans les années 1970 et 1980 comme décharge pour des déchets de ce type.

- Saint-Quentin-sur-Isère dans l'Isère (38) ;
- Solérieux dans la Drôme (26) ;
- Vif (décharge du Serf) dans l'Isère (38).

Nota : parmi ces sites, seul celui de Bellegarde dans le Gard reçoit encore des déchets à radioactivité naturelle renforçée dans des conditions conformes à la circulaire ministerielle du 25 juillet 2006.

- Des sites généralement à proximité d'installations nucléaires ou d'usines (8 sites), où par le passé ont été stockés, en buttes, remblais, lagunes, des déchets radioactifs que l'exploitant ou le détenteur n'envisageait pas de reprendre à la date de sa déclaration à l'Inventaire national. A fin 2007, ces sites sont les suivants :
  - la butte de Pierrelatte[5] dans la Drôme (26) ;
  - la butte de Bugey dans l'Ain (01) ;
  - l'ancien dépôt situé sous les bâtiments de l'usine ATOFINA de Serquigny dans l'Eure (27) ;
  - la lagune de Vernay à Loos-Lez-Lille dans le Nord (59) ;
  - le port de La Pallice à la Rochelle en Charente-Maritime (17) ;
  - la butte de Montboucher dans l'Essonne (91) ;
  - l'autoroute A87 à Chilly-Mazarin dans l'Essonne (91) ;
  - le site de La Rochelle (usine Chef de Baie)[6] sur lequel sont stockés en remblais, des résidus solides.
- Les sites de la Polynésie française (Mururoa, Fangataufa et Hao) qui dépendent du secteur d'activité « Centres d'étude, de production ou d'expérimentation de la force de dissuasion », sur lesquels ont été stockés les déchets issus des expérimentations nucléaires dans le Pacifique (voir annexe 5), sont également considérés comme des stockages historiques.

Au total **23 sites de stockage historique** sont donc recensés. Douze d'entre eux correspondent à des centres de stockage de déchets conventionnels, trois à des atolls de la Polynésie française.

Nota : sur certains des sites miniers (voir rubrique précédente) sont également stockés des déchets très faiblement actifs autres que les résidus de traitement d'uranium.

- 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. En effet, en fonction du degré de contamination, de l'accessibilité d'un site, et de ses utilisations potentielles, les pouvoirs publics peuvent décider de son éventuel assainissement ou non. S'ils décident que le site ne requiert pas un assainissement, il n'y a pas de déchets induits et l'Inventaire national ne les comptabilise donc pas. En revanche (voir chapitre 5), l'Inventaire national recense (i) les sites en attente ou en cours d'assainissement, (ii) les sites assainis avec des déchets entreposés sur place en attente d'enlèvement, (iii) les sites assainis avec ou sans servitude (pour mémoire). Les déchets provenant des sites assainis ou en cours d'assainissement sont comptabilisés.
- les **déchets immergés en Atlantique** en 1967 et en 1969 (voir annexe 5).
- les **déchets à vie très courte,** d'une période inférieure à 100 jours. Ces déchets sont gérés en décroissance sur place avant élimination dans des filières classiques. Ils ne sont donc pas envoyés dans un stockage dédié de déchets radioactifs.

5 Il faut noter qu'AREVA a décidé de transférer vers un centre de stockage approprié certains des déchets de cette butte (barrières de diffusion) d'ici 2013. Pour les autres déchets, les premiers contacts ont été pris avec l'Andra. Voir sous-chapitre 4.12.

6 Ce site dépend du secteur d'activité « Industrie non nucléaire utilisant des matériaux naturellement radioactifs » ; il n'a pas été classé dans le secteur d'activité entreposage/stockage car des déchets (résidus radifères RRA) y sont encore actuellement produits.

Ces exclusions concernent l'ensemble des bilans présentés dans ce rapport. Elles ne seront plus mentionnées par la suite.

3.1.1 Stocks des déchets radioactifs répertoriés au 31 décembre 2007

Le volume de déchets radioactifs recensés depuis le début de leur production jusqu'au 31 décembre 2007 est de 1 153 000 m³ environ (volume équivalent conditionné), toutes filières de gestion et toutes provenances confondues. À cette même date, plus de 71 % d'entre eux, soit un volume de 824 600 m³ environ, sont définitivement stockés.

3.1.1.1 Répartition par filière de gestion selon les catégories de la classification française

Les volumes de déchets existants au 31 décembre 2007 sur le territoire français hors déchets étrangers visés à l'article L542-2-1 du code de l'environnement[7], figurent dans le tableau 3.2 et sont représentés dans le graphique 3.1.

Tableau 3.2 : volumes de déchets radioactifs à fin 2007 en m³ équivalent conditionné

	Volume (m³)
HA	2 293 dont 74 de combustibles usés[8]
MA-VL	41 757
FA-VL	82 536
FMA-VC	792 695 (dont 735 278 stockés)
TFA	231 688 (dont 89 331 stockés)
FILIÈRE DE GESTION À DÉFINIR[9]	1 564
TOTAL	**1 152 533 (dont 824 609 stockés)** Soit **1 150 969** hors filière de gestion à définir

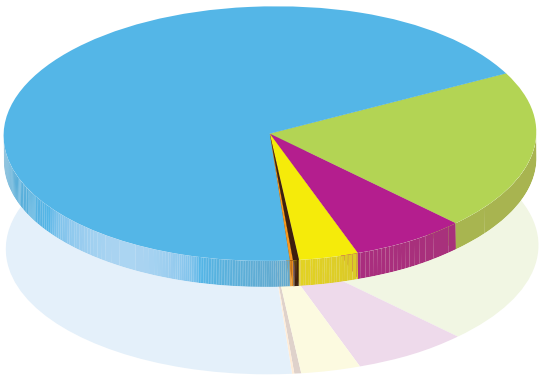
7 Voir décret n°2008-209 de mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.

8 Combustibles EL4 du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis, combustibles du réacteur de recherche Osiris, divers combustibles expérimentaux, combustibles de la filière de première génération « UNGG » non traités à ce jour (voir sous-chapitre 4.5).

9 Ces déchets ne sont plus présentés dans les bilans ultérieurs ; en attente de la définition de leur conditionnement, il n'est en effet pas possible de les comptabiliser en « volume équivalent conditionné ».

Graphique 3.1 : volumes de déchets radioactifs à fin 2007, par filière de gestion, en m³ équivalent conditionné

HA	**0,2 %**
MA-VL	**3,6 %**
FA-VL	**7,2 %**
FMA-VC	**68,8 %**
TFA	**20,1 %**
FILIÈRE DE GESTION A DEFINIR	**0,1 %**



Les déchets identifiés dans la catégorie « filière de gestion à définir » sont d'un niveau d'activité en général faible ou très faible.

Les déchets identifiés dans la catégorie « filière de gestion à définir » sont d'un niveau d'activité en général faible ou très faible. Les exploitants les déclarent à l'Inventaire national sans les attribuer à l'une des filières de gestion HA, MA-VL, FA-VL, FMA-VC ou TFA soit parce qu'ils se présentent sous une forme chimique ou physique qui ne permet pas de les associer actuellement à une filière de gestion existante ou en projet, soit parce qu'aucun mode de traitement n'est envisagé pour le moment. La forme finale que prendrait le déchet traité et conditionné, et la filière dans laquelle il pourrait s'inscrire à terme, ne sont pas connues ou déclarées à ce jour.

Il s'agit :

- d'effluents liquides ou de boues dont la composition chimique empêche actuellement le traitement (environ 420 m³), la part la plus importante se trouvant sur le site de FBFC à Romans (26) ;
- de distillats tritiés (environ 100 m³), situés sur le site CEA de Saclay (91) ;
- de solvants, d'effluents organiques, d'huiles et de lubrifiants contaminés, (environ 200 m³), la part la plus importante se trouvant sur le site AREVA de Pierrelatte (26) ;
- de déchets dits mixtes, mêlant toxiques chimiques et contamination radioactive (environ 400 m³ de déchets amiantés, résines échangeuses d'ions, résidus d'incinération, plomb...), les parts les plus importantes se trouvant sur le site FBFC de Romans (26) et de l'ancienne usine de diffusion gazeuse (UDG) de Pierrelatte (26) ;
- de filtres (environ 60 m³) ;
- de déchets solides à caractériser entreposés sur le site SOGEDEC de Pierrelatte (26) (environ 260 m³).

Certaines fluorines issues d'opérations chimiques sur l'uranium de traitement se trouvant sur le site de l'usine COMHUREX à Pierrelatte (26), identifiées comme étant sans filière de gestion dans l'Inventaire national 2006 ont été déclarées par l'exploitant comme relevant de la filière TFA dans le présent Inventaire national. En effet, à fin 2007, une demande d'acceptation au Centre de stockage TFA de l'Aube était en cours d'instruction à l'Andra. L'acceptation de ces fluorines (332 m³ recensées dans l'Inventaire national 2006 ; 355 m³ dans le présent Inventaire national) était toujours en cours d'instruction à fin 2008.

Les hypothèses et principes qui fondent ces volumes

Le calcul des volumes est fondé sur un certain nombre d'hypothèses, détaillées dans le Catalogue descriptif des familles de déchets. Les principales sont les suivantes :

- pour les déchets non conditionnés, les hypothèses de conditionnement retenues pour les bilans sont celles du producteur, y compris si elles sont encore en cours d'étude et/ou si elles nécessitent encore d'être validées par l'Autorité de sûreté nucléaire ou acceptées par l'Andra en vue du stockage ;
- les déchets des opérations de démantèlement ne sont comptabilisés que si l'opération en question a effectivement eu lieu à la date du 31 décembre 2007. Pour cette raison, les déchets de graphite FA-VL (voir chapitre 4) qui sont encore dans les réacteurs (empilements, réflecteurs en place, aires de support), ne sont pas comptabilisés dans les stocks à fin 2007 mais sont pris en compte au fur et à mesure de leur production entre 2008 et 2030 ;
- quand l'étude de la filière de gestion d'une famille particulière de déchets est encore en cours, cette famille est classée selon l'hypothèse retenue par le producteur. L'Andra vérifie la pertinence du classement (voir sous-chapitre 2.1) ;
- les déchets présents sur le site de La Hague sont destinés pour une part à un retour vers les clients étrangers. À cet égard, les déchets étrangers visés à l'article L542-2-1 du code de l'environnement ne sont pas pris en compte dans les bilans. L'état complet du stock de déchets de l'usine de La Hague, y compris les déchets étrangers, et la part revenant à chaque état, sont présentés dans le sous-chapitre 4.3. La gestion de l'attribution de ces déchets à chaque état par AREVA, est décrite dans l'annexe 1 ;
- les sources usagées hors paratonnerres (sources scellées, détecteurs de fumée, crayons sources, grappes sources...) font l'objet d'une famille particulière qui n'est pas rattachée aux filières de gestion de la classification des déchets. Aucun volume équivalent conditionné n'est par ailleurs affecté, dans cet Inventaire national, à ces sources. Les résultats de l'étude des procédés permettant le stockage des sources[10] dans les centres existants ou en projet, confiée à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (voir sous-chapitre 1.2 et encadré 3.1) permettront, pour le prochain Inventaire national, de répartir ces sources en fonction des filières de gestion identifiées pour leur prise en charge et d'évaluer leur volume équivalent conditionné, qui restera faible en regard de celui de la plupart des familles de déchets inventoriées.

Le calcul des volumes est fondé sur un certain nombre d'hypothèses, détaillées dans le Catalogue descriptif des familles de déchets.

10 Y compris les paratonnerres qui sont comptabilisés dans l'Inventaire national dans deux familles FA-VL spécifiques.

Encadré 3.1 :

Étude de la gestion durable des sources radioactives scellées usagées, confiée à l'Andra par la loi du 28 juin 2006

Conformément à la loi du 28 juin 2006, l'Andra a remis fin décembre 2008 l'étude sur la gestion durable des sources scellées usagées. Cette étude a permis de définir une méthode de répartition des sources scellées usagées entre les filières existantes (CSTFA, CSFMA) et futures (FA-VL, HA, MA-VL), en tenant compte de leur période, de leur activité et de leurs dimensions. Cette méthode a ensuite été appliquée à l'inventaire détaillé des sources, qui a été réalisé avec les détenteurs de sources.

Les sources scellées usagées présentent une grande diversité : radionucléides, activités, formes... Cette diversité est exprimée par l'inventaire qui a été établi (environ 2 millions de sources).

À long terme, par rapport aux déchets courants placés en stockage, une source scellée peut présenter des risques d'exposition supplémentaires inhérents à ses caractéristiques physiques et mécaniques : en cas d'intrusion humaine dans le stockage, son attractivité potentielle, sa masse et ses dimensions limitées pourraient entraîner une récupération par des individus en ignorant les dangers.

Tenant compte de cette spécificité, l'inventaire des sources scellées usagées a été structuré à partir de paramètres importants pour le stockage. Cinq groupes de sources dont les substances radioactives se trouvent sous forme solide sont ainsi identifiés. Les sources de chacun de ces groupes sont affectées aux filières de stockage les plus appropriées.

L'étude conclut qu'environ 83 % des deux millions de sources inventoriées sont destinées au stockage à faible profondeur, 15 % au stockage en surface et 2 % au stockage profond.

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).

Les sources scellées usagées présentent une grande diversité : radionucléides, activités, formes... Cette diversité est exprimée par l'inventaire qui a été établi (environ 2 millions de sources).

Les évolutions - comparaison avec les volumes de l'Inventaire national 2006

Les évolutions s'expliquent tout d'abord par le fonctionnement des installations au cours des années 2005, 2006 et 2007, qui ajoute aux stocks de déchets déjà existants les quantités produites pendant ces trois années. Toutefois, d'autres raisons peuvent également expliquer ces évolutions qui ne sont par ailleurs pas toujours synonyme d'augmentations. Elles sont présentées individuellement pour chaque famille de l'Inventaire national dans le catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs.

Une synthèse des principales évolutions pour chaque filière de gestion est présentée ici.

Pour la filière de gestion HA (Haute Activité)

Le stock de déchets HA à fin 2007 correspond (i) aux colis de déchets vitrifiés en cours de production et aux solutions de produits de fission anciennes à vitrifier, du site de La Hague, (ii) aux colis de déchets vitrifiés anciens du site de Marcoule (iii), à certains combustibles usés (combustibles EL4 du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis, combustibles de recherche du CEA...) qui ne seront pas traités (voir chapitre 4) et qui à cet égard deviennent des déchets.

Le stock à fin 2007 de colis de déchets vitrifiés ou à vitrifier est globalement conforme à celui attendu. Les combustibles usés non traités décrits ci-dessus étaient comptabilisés en matières radioactives dans l'Inventaire national 2006.

Pour la filière de gestion MA-VL (Moyenne activité à vie longue)

Malgré trois années de production supplémentaires, le volume du stock de déchets MA-VL à fin 2007 est inférieur d'environ 9 % à celui présenté à fin 2004 dans l'Inventaire national 2006.

Cette diminution est en grande partie due :

- à une évolution des reconditionnements prévus pour les 26 131 fûts d'enrobés bitumineux MA-VL produits avant octobre 1996 sur le site de Marcoule[11]. Cette évolution de conditionnement conduit, pour un nombre de fûts identiques, à une diminution de 3 000 m^3 ;
- au conditionnement des boues provenant du fonctionnement de l'usine UP2-400 de La Hague avant 1991 et entreposées dans sept silos de l'ancienne Station de Traitement des Effluents (STE2). Le conditionnement envisagé dans l'Inventaire national 2006 pour la totalité de ces boues était l'enrobage dans une matrice bitume. Or, seule une partie des boues d'un des silos (silo 14) a été bitumée en 2007, conduisant à la production de 340 fûts. Le bitumage de ces boues STE2 dans l'installation STE3, a depuis été interdit par l'Autorité de sûreté nucléaire. Pour la part des boues du silo 14 non bitumées et les boues actuellement entreposées dans les autres silos, AREVA étudie des procédés de conditionnement alternatifs. L'un d'entre eux a été retenu pour cet Inventaire national (voir le Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs) et conduit à une diminution du volume total équivalent conditionné de plus de 2 000 m^3 ;
- à la révision du ratio de production des colis de coques et embouts en conteneur standard de déchets compactés (CSD-C) sur le site de La Hague. Le retour d'expérience de la production entre 2005 et 2007 a en effet montré pour une même quantité de déchets, un volume conditionné plus faible que celui retenu dans le cadre des hypothèses de l'Inventaire national 2006. La grande majorité des coques et embouts comptabilisés dans les stocks à fin 2004 de l'Inventaire national 2006, n'était pas encore compactée et conditionnée en CSD-C mais entreposée sous eau en conteneurs provisoires en attente de reprise, ce qui explique la diminution du volume équivalent conditionné entre cet Inventaire national et celui de 2006.

D'autres évolutions dans les hypothèses de conditionnement retenues par les producteurs de déchets sont observées, et peuvent conduire à des diminutions comme à des augmentations de volume. À titre d'exemple, l'hypothèse de conditionnement désormais retenue par EDF, pour les déchets activés des réacteurs EDF, est une cimentation des déchets dans des colis béton dénommés C1PG après découpe des déchets, soit sur la future installation ICEDA (Installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés) pour les déchets d'exploitation, soit directement sur site pour les déchets issus de démantèlements). Cette hypothèse diffère de celle retenue dans l'Inventaire national 2006 (conditionnement en conteneur inox CSD-C) et conduit à une augmentation du volume équivalent conditionné de ces déchets.

11 7 000 fûts sont ou seront reconditionnés en fûts de 380 litres et un reconditionnement en fûts de 223 litres est prévu pour les autres fûts dans le présent Inventaire national alors qu'un reconditionnement de la totalité des fûts en surfûts de 380 litres était prévu dans l'Inventaire national 2006.

Pour la filière de gestion FA-VL (Faible activité à vie longue)

En dépit, d'une part d'un flux de production entre 2005 et fin 2007 très faible pour les déchets radifères et inexistant pour les déchets de graphite[12], et d'autre part de l'orientation vers la filière TFA de plus de 6 000 m^3 de gravats du site CEA du Bouchet dénommé « site CEA d'Itteville » relevant précédemment de la présente filière, le volume du stock de déchets FA-VL à fin 2007 augmente de plus de 70 % par rapport à celui présenté à fin 2004 dans l'Inventaire national 2006.

Deux raisons, principalement, expliquent cette forte augmentation. Il s'agit de :

- la diminution du ratio en tonnes/m^3 pour le conditionnement des déchets de graphite par rapport à l'Inventaire national 2006. Les études menées en 2006/2007 pour le stockage de ces déchets ont en effet conduit à établir des ratios de conditionnement différents de ceux retenus par hypothèse dans l'Inventaire national précédent ;
- la prise en compte dans cette filière de gestion de 31 894 fûts d'enrobés bitumineux produits avant octobre 1996 sur le site de Marcoule soit environ 33 000 m^3 (en équivalent conditionné). Le rattachement à la filière FA-VL est une option à l'étude actuellement pour ces 31 894 fûts d'enrobés bitumineux (la possibilité d'étendre le nombre de fûts à 40 000 (les 8 106 fûts d'écart avec les 31 894 fûts sont rattachés à la filière de gestion MA-VL dans le présent Inventaire) sera examinée en fonction des résultats de l'étude en cours). 34 456 fûts relevaient dans l'Inventaire national 2006 de la filière de gestion FMA-VC, la possibilité de leur stockage au Centre de stockage FMA de l'Aube (CSFMA) étant en cours d'étude à la date de leur déclaration pour cet Inventaire national. Le stockage au CSFMA de 31 894 de ces fûts a été refusé par l'Andra en 2006. Le solde, 2 562 fûts, a été accepté au CSFMA dans le cadre d'un agrément existant (258 fûts) ou fait l'objet d'une demande d'acceptation (2 304 fûts[13]).

Pour la filière de gestion FMA-VC (Faible et moyenne activité à vie courte)

Malgré trois années de production supplémentaires, le volume du stock de déchets FMA-VC à fin 2007 est légèrement inférieur (d'environ 1 %) à celui présenté à fin 2004 dans l'Inventaire national 2006.

Le rattachement à la filière FA-VL de 31 894 fûts d'enrobés bitumineux (option actuellement à l'étude), affectés à la filière FMA-VC dans l'Inventaire national 2006 (voir paragraphe précédent) est à l'origine de cette diminution.

D'autres évolutions ont dans une moindre mesure conduit à une diminution du volume des stocks de cette catégorie. On peut citer par exemple l'orientation vers la filière TFA de déchets d'exploitation et de démantèlement d'EDF.

Pour la filière de gestion TFA (Très faiblement actifs)

Compte-tenu des 6 000 m^3 de gravats du site CEA du Bouchet affectés à la filière de gestion FA-VL dans l'Inventaire national 2006, qui deviennent TFA dans le présent Inventaire, le volume de déchets TFA à fin 2007 est conforme à l'attendu.

12 Les seules productions de déchets de graphite proviennent du démantèlement des empilements et des réflecteurs des anciens réacteurs UNGG. Aucun de ces démantèlements n'a été initié entre 2005 et 2007.

13 Sur ces 2 304 fûts, 1 952 ont reçu mi-2008, un accord de principe pour leur acceptation au CSFMA.

3.1.1.2 Répartition des déchets par propriétaire français et par secteur économique à fin 2007

La répartition des déchets par propriétaire

La répartition des déchets par propriétaire français à fin 2007 est présentée pour chaque filière de gestion sur les graphiques 3.2 à 3.8.

L'Inventaire national 2006 présentait des répartitions (i) résultant d'études spécifiques effectuées par les producteurs à la demande du comité de pilotage de l'Inventaire national pour les déchets HA et MA-VL, (ii) effectuées sur la base d'évaluations faites par l'Andra à partir de données disponibles à l'époque pour les déchets relevant des autres filières. Ces répartitions sont désormais effectuées sur la base des déclarations des producteurs et de l'Andra (en ce qui concerne les déchets déjà stockés sur ses centres) pour l'ensemble des filières de gestion. Des évolutions, imputables en partie à cette nouvelle démarche, sont ainsi observées pour les filières de gestion FA-VL graphite et FMA-VC.
Pour les filières de gestion HA, FA-VL, FMA-VC et TFA, ces répartitions sont effectuées sur la base des quantités en volumes équivalents conditionnés, existant à fin 2007 (tableau 3.2). Pour la filière de gestion MA-VL, le bilan du tableau 3.2 exclut les déchets visés à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement[14] mais comptabilise des colis de déchets pour lesquels AREVA dispose de droits d'expédition dans le cadre de certains contrats (voir annexe 1). La répartition par propriétaire français des déchets MA-VL est effectuée sur la base d'un volume de 41 217 m^3, qui ne prend pas en compte ces déchets (colis de déchets produits au titre des traitements internes de flux de radioéléments conditionnés en fûts de bitume, colis standards CSD-B ou colis C5).

- **Pour les déchets HA et MA-VL (graphiques 3.2 et 3.3)**
  Peu d'évolutions sont à noter par rapport à la répartition présentée dans l'Inventaire national 2006 pour les filières de gestion HA et MA-VL.

Pour les déchets MA-VL, cette répartition reste toujours soumise à des incertitudes liées notamment :

- à l'attribution fine de chaque famille de déchets, dans le cadre des accords contractuels entre producteurs, actuellement non finalisés ;
- aux hypothèses de conditionnement des déchets anciens, qui sont encore susceptibles d'évolutions.

Les incertitudes, exprimées pour les déchets MA-VL en pourcents, seront levées notamment au fur et à mesure de la mise en œuvre des programmes de reprise de ces déchets anciens.

EDF est propriétaire de la majorité des déchets directement issus des combustibles usés qu'il a fait traiter à Marcoule et La Hague, d'abord par le CEA, puis par COGEMA à partir de 1976 (date de sa création). Toutefois, les premiers combustibles usés de type uranium naturel graphite-gaz ont été remis à la disposition du CEA civil, qui conserve donc la propriété des déchets qui en sont directement issus après traitement, principalement à Marcoule mais aussi à La Hague. Par ailleurs, AREVA est notamment propriétaire des déchets issus des combustibles traités au titre de contrats antérieurs à 1977, qui ne comportaient pas de clause de réexpédition des déchets (512 tonnes de combustibles usés sur les 10 000 tonnes de combustibles usés étrangers traités au total à La Hague).

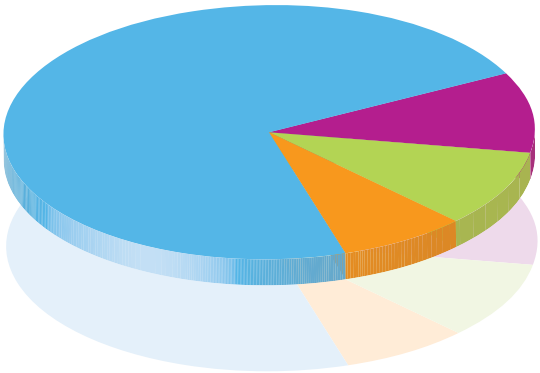
14 Colis CSD-V et CSD-C.

Les déchets anciens et courants induits par les activités menées sur le site de Marcoule pour le compte de la Défense appartiennent au CEA/DAM.

EDF, le CEA civil, le CEA/DAM et AREVA sont également propriétaires de déchets MA-VL liés à l'exploitation de leurs propres installations.

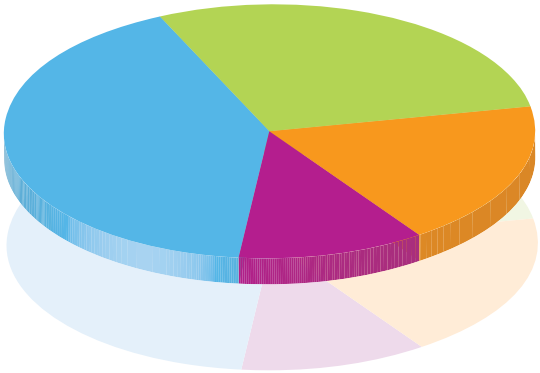
Graphique 3.2 : répartition en volume des déchets HA par propriétaire français à fin 2007

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



Graphique 3.3 : répartition en volume des déchets MA-VL par propriétaire français à fin 2007

Part EDF	**41,4 % +/-1**
Part CEA/CIVIL	**28,9%**
Part AREVA	**18,5 % +/-1**
Part CEA/DAM	**11,2 %**



- **Pour les déchets FA-VL (graphiques 3.4, 3.5 et 3.6)**

Les répartitions par propriétaire des déchets de graphite, des déchets radifères et des autres déchets FA-VL sont présentées séparément. En équivalent conditionnés, les déchets de graphite existants fin 2007 représentent 18 676 m^3, les déchets radifères 30 450 m^3 et les autres déchets FA-VL 33 408 m^3.

Comme indiqué paragraphe 3.1.1.1, les déchets de graphite qui sont encore dans les réacteurs (empilements, réflecteurs en place, aires de support), ne sont pas comptabilisés dans les stocks fin 2007. Les répartitions présentées ci-dessous ne prennent donc en compte que les déchets de graphite déjà évacués des centrales (notamment des chemises constituant la structure de combustibles UNGG traités à La Hague et à Marcoule).

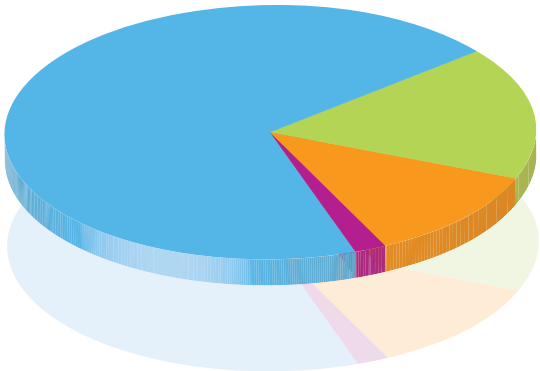
Il faut noter que l'affectation à la filière TFA de plus de 6 000 m^3 de gravats du Bouchet (CEA) (voir paragraphe 3.1.1.1), comptabilisés en déchets radifères FA-VL dans l'Inventaire national 2006, est la cause essentielle de l'évolution de la répartition par propriétaire des déchets radifères.

Enfin, les déchets concernés par la répartition « autres FA-VL » sont essentiellement des fûts anciens d'enrobés bitumineux de Marcoule[15] (voir paragraphe 3.1.1.1) comptabilisés en FMA-VC dans l'Inventaire national 2006 ainsi que les paratonnerres au radium et à l'américium.

15 Le rattachement de ces bitumes à la filière de gestion FA-VL est une option actuellement à l'étude.

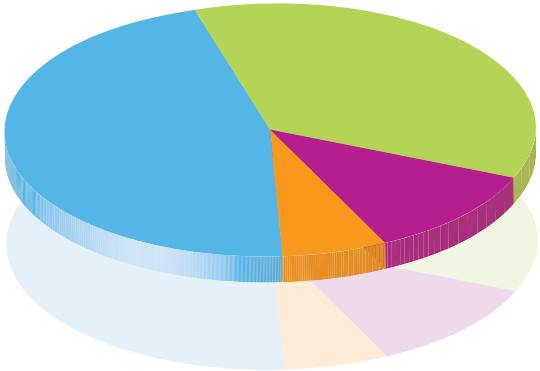
Graphique 3.4 : répartition en volume des déchets de graphite par propriétaire à fin 2007

Part EDF	**69,6 %**
Part CEA/CIVIL	**16,9 %**
Part AREVA	**11,7 %**
Part CEA/DAM	**1,8 %**



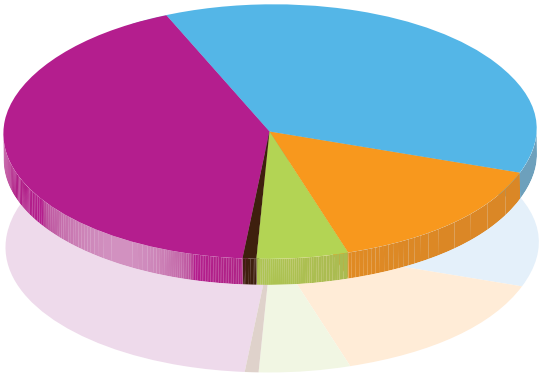
Graphique 3.5 : répartition en volume des déchets radifères par propriétaire à fin 2007

Part RHODIA	**43,3 %**
Part CEA/CIVIL	**39 %**
Part Autres	**11,4 %**
Part AREVA (CEZUS)	**6,3 %**



Graphique 3.6 : répartition en volume des autres déchets FA-VL par propriétaire à fin 2007

Part CEA/DAM	**39,8 %**
Part EDF	**39,3 %**
Part AREVA	**14,7 %**
Part CEA/CIVIL	**5,6 %**
Part Autres	**0,6 %**



Pour les déchets FMA-VC et TFA (graphiques 3.7 et 3.8)

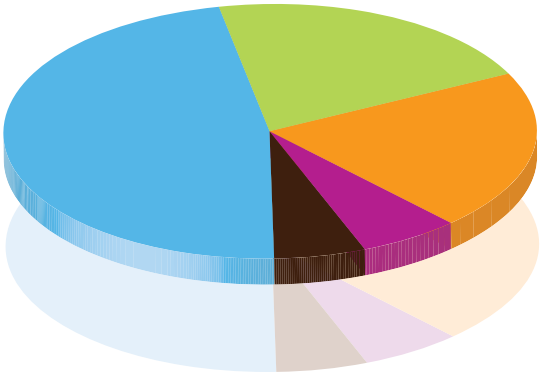
Les déchets FMA-VC et TFA issus d'un site donné sont généralement la propriété de l'exploitant du site.

L'affectation des 31 894 fûts anciens d'enrobés bitumineux de Marcoule à la filière de gestion FA-VL (option actuellement à l'étude) modifie peu la répartition présentée dans l'Inventaire national 2006 pour laquelle ces fûts anciens d'enrobés bitumineux étaient comptabilisés en FMA-VC. L'essentiel de l'évolution de cette répartition est dû à la nouvelle démarche d'évaluation des parts de chaque propriétaire, présentée plus haut.

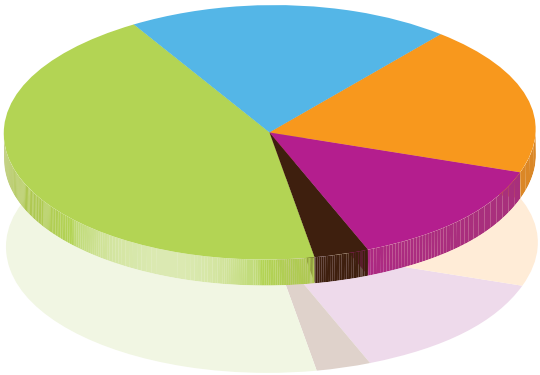
Enfin, l'affectation à la filière TFA des 6 000 m^3 de gravats du Bouchet (CEA) comptabilisés en déchets radifères dans l'Inventaire national 2006, contribue de façon significative à l'évolution de la répartition par propriétaire des déchets TFA.

Graphique 3.7 : répartition en volume des déchets FMA-VC par propriétaire à fin 2007

Part EDF	**47,4 %**
Part CEA/CIVIL	**20,7 %**
Part AREVA	**20,5 %**
Part CEA/DAM	**5,9 %**
Part Autres	**5,5 %**



Graphique 3.8 : répartition en volume des déchets TFA par propriétaire 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 %**

La répartition par secteur économique

La répartition des déchets radioactifs par secteur économique (voir sous-chapitre 1.3) est présentée pour chaque filière de gestion sur les graphiques 3.9 à 3.13.
Cette répartition a été estimée par l'Andra sur la base notamment de la répartition par propriétaire présentée ci-dessus.

Les déchets affectés au secteur économique **Électronucléaire** correspondent aux déchets produits par les activités liées aux centrales électronucléaires, aux usines de l'amont du cycle et aux usines de traitement de combustibles usés. Pour les filières de gestion HA, MA-VL et FMA-VC, les déchets sont majoritairement issus de ce secteur économique. Sont également rattachés à ce secteur économique, les déchets FA-VL produits par l'industriel CEZUS dans le domaine de la fabrication d'éponges de zirconium pour l'industrie nucléaire (voir sous-chapitre 4.9).

Les déchets affectés au secteur économique **Défense** correspondent pour les filières de gestion HA et MA-VL aux déchets appartenant au CEA/direction des applications militaires (CEA/DAM). Pour les autres filières de gestion, ce secteur économique regroupe les déchets relevant du CEA/DAM et ceux issus des activités liées à la défense nationale (DGA, SSA, Armées terre/air/mer, gendarmeries).

Le secteur économique **Recherche** correspond pour la plus grande part aux déchets produits par le CEA dans le cadre de ses activités de recherche civile, pour une moindre part aux déchets produits dans le cadre d'activités de recherche effectuées dans des centres autres que ceux du CEA. Parmi ceux–ci, on peut citer, à titre d'exemple, le Centre européen pour la recherche nucléaire (CERN) (01), l'Institut Laue Langevin[16] (38), le Grand accélérateur d'ions lourds (GANIL) (14) ou encore l'Institut de physique nucléaire (IPN) d'Orsay (91). Les déchets radifères produits par l'assainissement de l'ancienne usine de traitement de minerais d'uranium du Bouchet exploitée par le CEA entre 1946 et 1970 ont été conventionnellement attribués à ce secteur économique.

Les déchets produits par les industriels utilisant des matériaux naturellement radioactifs[17] en particulier l'industriel RHODIA dans le domaine de l'extraction des terres rares, sont rattachés au secteur économique **Industrie non électronucléaire.** Les autres déchets rattachés à ce

16 L'Institut Laue Langevin exploite le réacteur de Recherche à Haut Flux (RHF) utilisé depuis 1971 comme source de neutrons pour des études scientifiques.

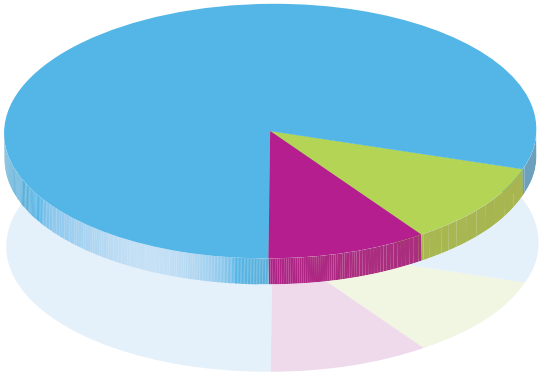
17 À l'exception des déchets CEZUS rattachés au secteur économique électronucléaire.

secteur économique proviennent de nombreuses autres petites industries actuelles ou du passé. On peut citer en particulier les paratonnerres à tête radioactives rattachés à la filière de gestion FA-VL radifère, fabriqués entre 1932 et 1986, et progressivement démontés et collectés par l'Andra. On notera que les 0,3% de déchets MA-VL affectés au secteur économique industrie non électronucléaire, correspondent aux « blocs sources » contenant des sources scellées usagées collectées auprès des petits producteurs de déchets dans les années 1970/1980.

Enfin, le secteur économique **Médical** regroupe les déchets issus des activités thérapeutiques et de diagnostic médical ainsi que les déchets produits par la recherche dans le domaine médical dont une grande partie est collectée par l'Andra.

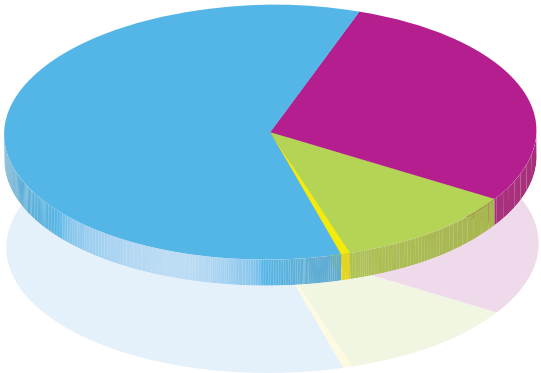
Graphique 3.9 : répartition en volume des déchets HA par secteur économique à fin 2007

Électronucléaire	**80,1 %**
Défense	**10,3 %**
Recherche	**9,6 %**



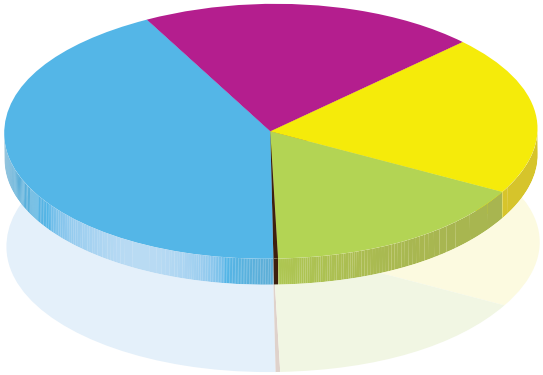
Graphique 3.10 : répartition en volume des déchets MA-VL par secteur économique à fin 2007

Électronucléaire	**59,9 %**
Recherche	**28,6 %**
Défense	**11,2 %**
Industrie non électronucléaire	**0,3 %**



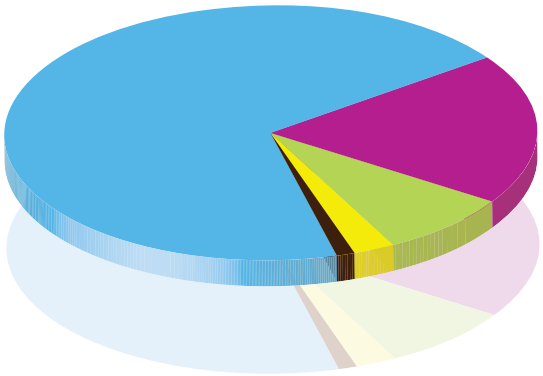
Graphique 3.11 : répartition en volume des déchets FA-VL par secteur économique à fin 2007

Électronucléaire	**42,6 %**
Recherche	**20,5 %**
Industrie non électronucléaire	**20,4 %**
Défense	**16,5 %**
Médical	**0,03 %**



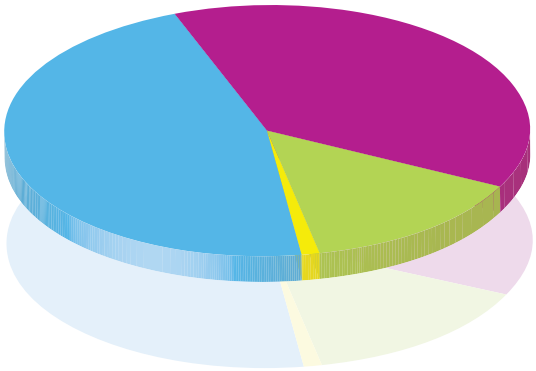
Graphique 3.12 : répartition en volume des déchets FMA-VC par secteur économique à fin 2007

Électronucléaire	**69,4 %**
Recherche	**19,1 %**
Défense	**8,1 %**
Industrie non électronucléaire	**2,4 %**
Médical	**1 %**



Graphique 3.13 : répartition en volume des déchets TFA par secteur économique à fin 2007

Électronucléaire	**44,8 %**
Recherche	**39,5 %**
Défense	**14,7 %**
Industrie non électronucléaire	**1 %**



3.1.1.3 Contenu radiologique des déchets radioactifs existants

Inventaire

Une estimation de la radioactivité contenue dans les déchets est réalisée à partir des données relatives à chaque famille de déchets, nombre de colis et radioactivité moyenne par colis (voir Catalogue descriptif des familles de déchets radioactifs). Un calcul succinct de la décroissance de la radioactivité en fonction de la période des radionucléides présents, jusqu'en 2007 puis jusqu'en 2030, accompagne ces estimations. Le contenu radiologique s'apprécie selon trois types de données, les rayonnements alpha, bêta-gamma à vie courte et bêta-gamma à vie longue.
La méthode employée par les producteurs de déchets pour évaluer ce contenu radiologique est variable :

- **déchets relevant des filières de gestion HA et MA-VL :** les producteurs réalisent des « dossiers de connaissances » à la demande de l'Andra, utilisés dans le cadre des études sur le stockage de ces déchets. L'estimation de la radioactivité des déchets anciens est moins précise et est affinée lors de leur reprise.
- **déchets relevant de la filière de gestion FA-VL** (de graphite ou radifères) : la détermination de la radioactivité repose sur des résultats d'analyses pratiquées sur échantillons et, le cas échéant, sur des évaluations complémentaires déclarées par les producteurs à l'Andra. Les connaissances actuelles en matière de radioactivité devraient s'affiner, l'établissement de dossiers de connaissances étant désormais également demandé par l'Andra pour ces déchets dans le cadre des études relatives à leur stockage.
- **déchets relevant des filières de gestion FMA-VC et TFA :** lors de leur envoi sur les centres de stockage, les producteurs déclarent chaque colis à l'Andra suivant une méthode fondée sur des mesures et/ou des évaluations par calcul. Après un contrôle de conformité, l'Andra autorise leur stockage. À quelques exceptions près[18], la radioactivité des déchets est évaluée à partir de ces déclarations, conservées depuis la mise en service des centres.

La radioactivité de l'ensemble des déchets produits au 31 décembre 2007 est présentée dans le tableau ci-dessous.

18 Colis ne faisant pas encore l'objet d'une acceptation au CSFMA.

Tableau 3.3 : radioactivité de l'ensemble des déchets produits au 31 décembre 2007 (valeur en TBq, soit 10^{12} Bq)

	Alpha	Bêta-Gamma à vie courte	Bêta-Gamma à vie longue
HA	5 490 000	84 400 000	263 000
MA-VL	15 900	4 000 000	713 000
FA-VL	233	7 200	812
FMA-VC	783	19 350	6 060
TFA	0,9	1,8	0,2

- **les déchets HA** rassemblent 94,98% de la radioactivité totale des déchets radioactifs produits jusqu'au 31 décembre 2007. Il s'agit de déchets extraits des combustibles usés (produits de fission et actinides mineurs produits en réacteurs). Les principaux radionucléides contribuant à cette activité sont :

- pour les radionucléides alpha : curium 244, américium 241 ;
- pour les radionucléides bêta-gamma à vie courte : césium 137, strontium 90, prométhéum 147, césium 134 ;
- pour les radionucléides bêta-gamma à vie longue : samarium 151, nickel 63, technétium 99.

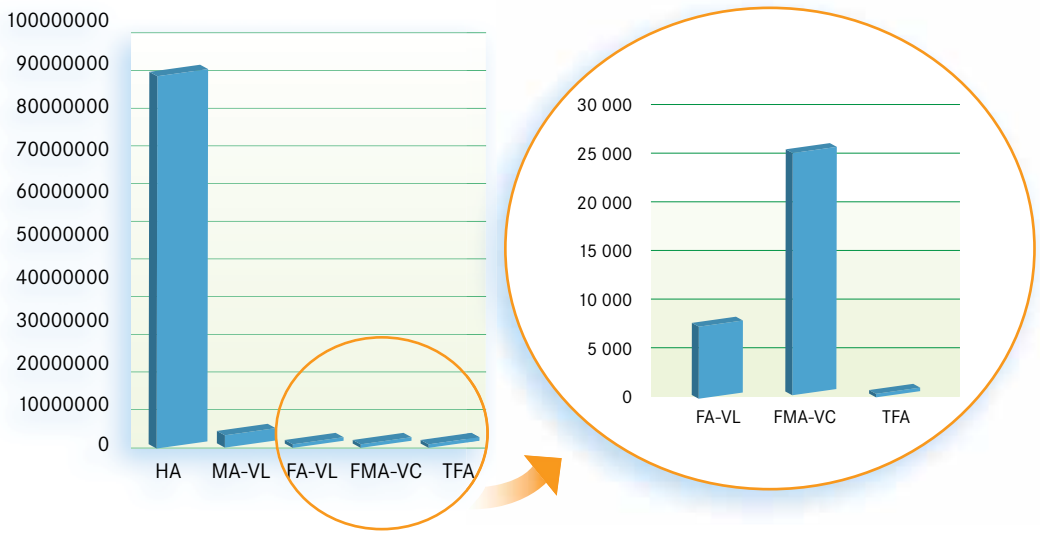
- **les déchets MA-VL** représentent 4,98% de la radioactivité totale. Les déchets activés des réacteurs et les déchets de structure des combustibles nucléaires « coques et embouts » apportent l'essentiel de la radioactivité bêta-gamma des déchets MA-VL. Les radionucléides principaux sont le fer 55, le cobalt 60, le césium 137 et le strontium 90 pour les vies courtes, et le nickel 63 pour les vies longues.

- **les déchets FA-VL** représentent 0,0087% de la radioactivité totale. Les déchets de graphite contiennent essentiellement des radionucléides bêta-gamma, principalement du tritium, du cobalt 60 pour les vies courtes, du carbone 14, du nickel 63 et du chlore 36 pour les vies longues. Les déchets radifères contiennent essentiellement des radionucléides d'origine naturelle émetteurs alpha (radium, thorium, uranium).

- **les déchets FMA-VC** représentent 0,0276% de la radioactivité totale. Deux familles de déchets fournissent une grande part de l'activité bêta-gamma. Ce sont les coques en béton d'EDF contenant des résines échangeuses d'ions ayant servi à l'épuration des circuits d'eau primaires, et les coques en béton comportant des déchets solides de maintenance comme certains filtres irradiants. Les déchets des centrales EDF contiennent peu de radionucléides émetteurs alpha. Ces derniers proviennent surtout des déchets conditionnés dans les usines de traitement du combustible usé et, dans une moindre mesure, des centres d'études et de production pour la force de dissuasion.

Cette répartition de l'activité radiologique à fin 2007 est représentée sur le graphique 3.14.

Graphique 3.14 : répartition de l'activité radiologique à fin 2007 en TBq, soit 10^{12} Bq



La radioactivité totale des colis de déchets décroît en fonction de la période de chacun des radionucléides qui la compose. Au bout de quelques siècles, seule la composante dite à vie longue, c'est-à-dire les radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans, demeure.

Décroissance radioactive des déchets

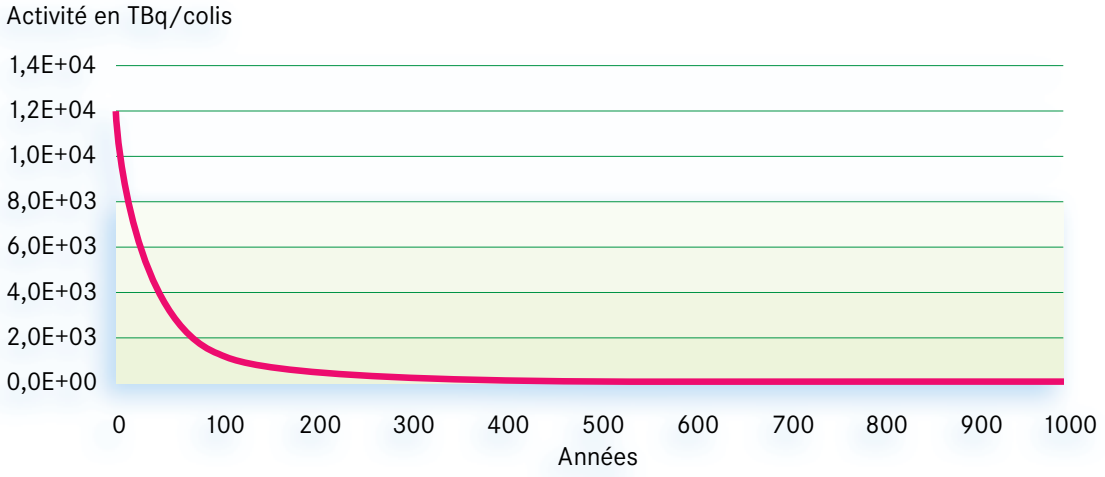
La radioactivité totale des colis de déchets décroît en fonction de la période de chacun des radionucléides qui la compose. Au bout de quelques siècles, seule la composante dite à vie longue, c'est-à-dire les radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans, demeure.

Les deux courbes suivantes (graphiques 3.15 et 3.16) illustrent, pour un déchet vitrifié moyen du type de ceux qui ont été produits à La Hague, l'évolution de la radioactivité totale au cours des mille premières années, en térabecquerels (TBq), c'est-à-dire en milliers de milliards de becquerels) par colis. La décroissance est dominée par celle du césium 137 et du strontium 90, qui sont des éléments à vie courte.

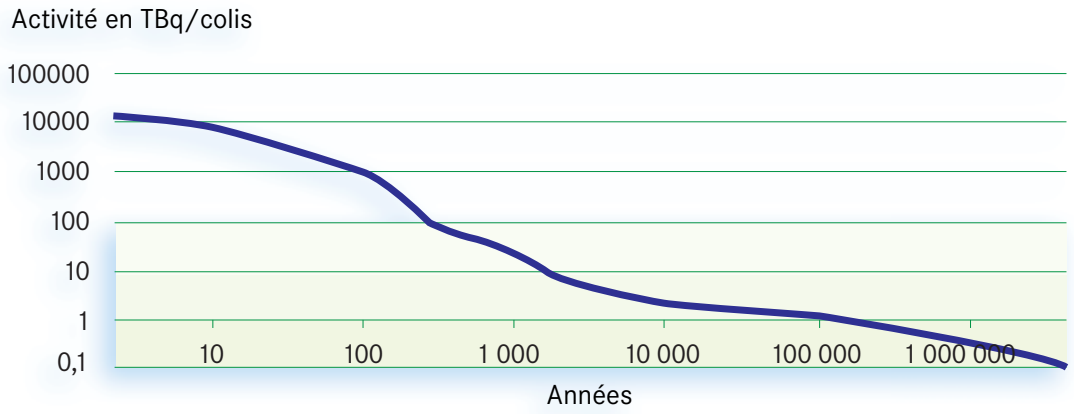
L'activité n'est pas nulle au bout de 1 000 ans, elle a simplement décru d'un facteur supérieur à 100, et elle est égale à la somme des activités des éléments à vie longue, qui est inférieure à 100 TBq. Pour observer cette activité résiduelle, il faut adopter un autre mode de représentation de l'évolution de l'activité, avec un graphe dont les axes ont une échelle logarithmique, c'est-à-dire permettant un effet de « loupe » sur les temps courts et sur les activités les moins élevées.

La décroissance des radioéléments entraîne celle de la puissance thermique du colis, c'est-à-dire de la chaleur qu'il émet. Celle-ci passe de 1 900 watts par colis en moyenne à la fabrication à 500 watts au bout d'une cinquantaine d'années, et à environ un watt après 10 000 ans.

Graphique 3.15 : évolution de l'activité d'un déchet vitrifié sur les mille premières années

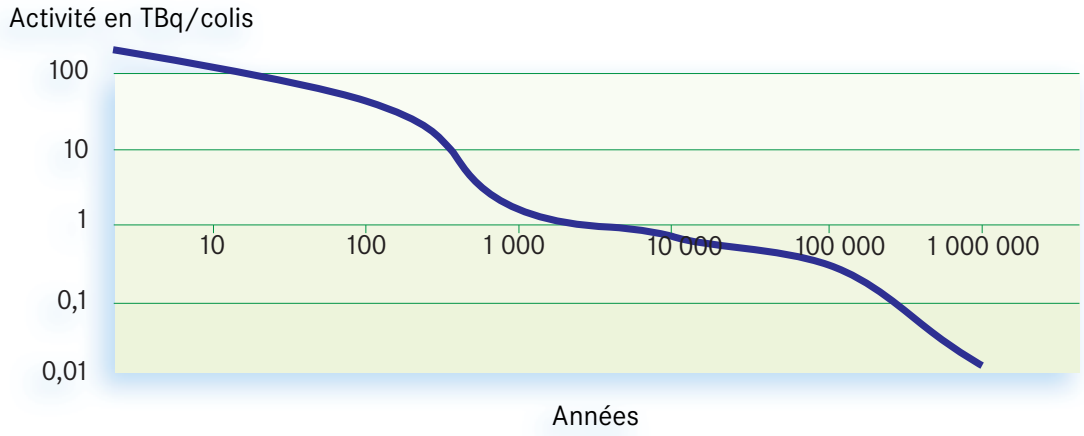


Graphique 3.16 : évolution de l'activité d'un déchet vitrifié sur un million d'années (échelle logarithmique)



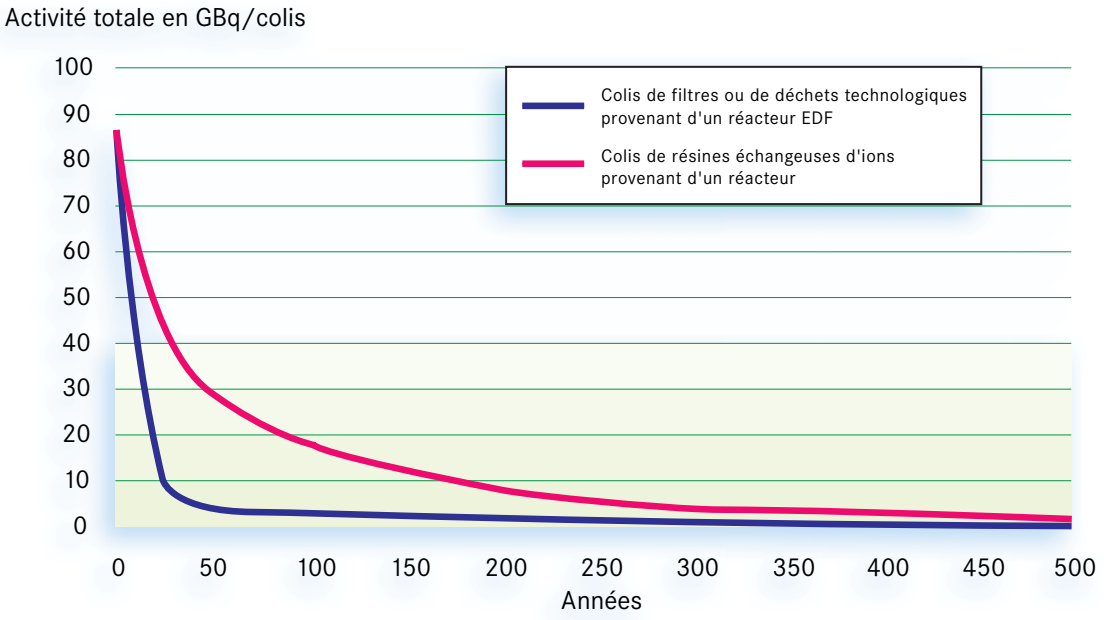
On peut donner d'autres illustrations de la décroissance radioactive des colis. Pour un déchet MA-VL, tel qu'un conteneur de « déchets de structure » compactés, la courbe a la même allure générale que pour le verre (figure 3.17), mais, bien entendu, le niveau d'activité initiale est moindre. Pour un tel déchet, la puissance thermique moyenne est initialement d'une vingtaine de watts par colis, et décroît d'un facteur 10 en 100 ans.

Graphique 3.17 : évolution de l'activité d'un colis moyen de déchets de structures de combustibles usés compactés



Pour un colis de déchets FMA-VC, la décroissance est beaucoup plus rapide. À titre d'exemple, on peut illustrer la décroissance de deux colis représentatifs livrés par EDF au Centre de stockage FMA de l'Aube (figure 3.18). L'activité est cette fois-ci en gigabecquerels (GBq, c'est-à-dire milliards de becquerels) par colis. Elle est divisée par plus de dix en 300 ans dans les deux cas. La puissance thermique de tels colis est négligeable.

Graphique 3.18 : évolution de l'activité de deux exemples de colis FMA-VC



Enfin, le graphique 3.19 illustre l'évolution de l'activité pour l'ensemble des déchets FA-VL de graphite (y compris ceux issus des réacteurs encore non démantelés à fin 2007). En raison de la présence de carbone 14 et de chlore 36, éléments à vie longue et très longue, l'activité aura décru de plus d'un facteur 100 après 100 000 ans.

Graphique 3.19 : évolution de l'activité des déchets de graphite

3.1.1.4 Gestion des déchets existants : conditionnement et devenir à long terme

Conditionnement au 31 décembre 2007

Les déchets radioactifs doivent présenter des caractéristiques favorables pour leur accueil dans un entreposage ou dans un stockage. Leur conditionnement sous la forme définitive d'un colis est une étape importante de leur gestion.

Les étapes du conditionnement et le type des opérations relatives au conditionnement varient selon les modes d'exploitation retenus par les industriels, mais évoluent également dans le temps.

Dans le cadre de l'Inventaire national, la définition du stade d'avancement du processus de conditionnement est la suivante :

- **déchet non-conditionné :** déchet qui ne se trouve pas dans un conteneur à la date considérée (par exemple : effluents liquides en cuves, déchets en silos...) ou qui fait l'objet d'un conditionnement temporaire ;
- **déchet préconditionné :** déchet qui a reçu un traitement/conditionnement partiel qui s'intègrera au colis final (par exemple : fûts métallique qui sera placé *a posteriori* dans une coque béton) ;
- **déchet conditionné :** déchet qui se trouve dans le colis final.

Le préconditionnement et le conditionnement constituent donc deux stades d'avancement différents du processus de conditionnement pour l'Inventaire national. La loi du 28 juin 2006 ne fait pas cette distinction : des déchets préconditionnés sont considérés comme conditionnés au sens de la loi.

La répartition des déchets non conditionnés, préconditionnés et conditionnés à fin 2007 est présentée dans le tableau 3.4.

On constate qu'une part significative des déchets, plus de 84 %, est déjà conditionnée sous forme définitive. Les stocks qui ne se présentent pas encore sous leur forme définitive se déclinent ainsi :

- **une part marginale de déchets HA.** Ce sont des solutions de produits de fission qui seront vitrifiées dans les ateliers d'AREVA à La Hague et du CEA à Marcoule. Elles incluent des solutions des produits de fission issus de combustibles de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG), qui requièrent un mode de vitrification particulier en « creuset froid » (verres dits « uranium - molybdène » ou UMo) ;
- **environ 51 % des déchets MA-VL.** En attente de leur stockage profond, ces déchets, anciens pour la plupart, sont entreposés dans les installations des industriels producteurs : CEA Cadarache et Marcoule, AREVA La Hague. Il sera nécessaire de les reprendre et de les conditionner. La loi du 28 juin 2006 impose à leurs propriétaires de conditionner avant 2030, les déchets MA-VL produits avant 2015 ;
- **une faible part de déchets FMA-VC.** Ces déchets sont en attente de traitement ou correspondent à des déchets anciens ;
- **environ 90% des déchets FA-VL.** Les déchets radifères sont entreposés en l'état, dans l'attente du stockage à faible profondeur, ce qui impliquera éventuellement un traitement et la définition d'un conditionnement adapté.

Les déchets de graphite sont entreposés dans les réacteurs arrêtés ou en silos.

On constate qu'une part significative des déchets, plus de 84 %, est déjà conditionnée sous forme définitive.

L'Andra et les producteurs étudient actuellement un mode de conditionnement pour les déchets de graphite, en conteneur en béton armé ou béton-fibre de 5 ou 10 m³ directement stockable.

Tableau 3.4 : répartition des déchets conditionnés, préconditionnés et non conditionnés à fin 2007 (en m³ équivalent conditionné)

	Déchets conditionnés *Volume*	Déchets préconditionnés *Volume prévisionnel après conditionnement*	Déchets non conditionnés *Volume prévisionnel après conditionnement*	Volume total
HA	2 050	1	242	**2 293**
MA-VL	20 499	7 880	13 378	**41 757**
FA-VL	8 137	33 668	40 731	**82 536**
FMA-VC	746 410	7 117	39 168	**792 695**

Les déchets TFA sont exclus de ce compte. Pour ces déchets à très faible niveau de radioactivité, des conditionnements simplifiés (en big-bags ou en caissons) sont autorisés pour l'accueil sur le Centre de stockage TFA de l'Aube. Pour certains déchets TFA, il n'y a pas de distinction entre conditionnés et non conditionnés.

Gestion à long terme

Environ 129 500 m³ de déchets radioactifs, soit 11 % de la quantité répertoriée au 31 décembre 2007, sont actuellement en entreposage, en attente de création d'un stockage destiné à les accueillir (déchets HA, MA-VL, FA-VL, FMA-VC tritiés).

Ces déchets se répartissent comme suit :
- 2 293 m³ de déchets HA ;
- 41 757 m³ de déchets MA-VL ;
- 82 536 m³ de déchets FA-VL ;
- 2 905 m³ de déchets FMA-VC tritiés.

Les filières de gestion spécifiques étudiées dans le cadre de la loi du 28 juin 2006 pour les déchets HA, MA-VL et FA-VL sont présentées en annexe 3. Les solutions d'entreposage de déchets tritiés permettant la réduction de leur radioactivité avant stockage sont présentées dans l'encadré 3.2 (extrait du « Dossier d'orientation sur l'entreposage des déchets tritiés », remis par le CEA au ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, fin 2008, conformément à la loi du 28 juin 2006, voir chapitre 1).

Encadré 3.2 :

Extrait du « Dossier d'orientation sur l'entreposage des déchets tritiés »

Dans le cadre de ses activités de recherche et développement, notamment pour ses applications militaires, le CEA produit des déchets contenant du tritium qui sont aujourd'hui sans exutoire définitif ; ils sont actuellement entreposés après traitement et conditionnement sur les sites de Valduc et de Marcoule. Par ailleurs, des industriels et des laboratoires de recherche médicale et pharmaceutique ont utilisé et utilisent encore du tritium pour différentes applications qui ont généré des déchets tritiés, dont une quantité limitée est également sans exutoire. Enfin, l'installation ITER[19] générera également des déchets tritiés à partir de 2020.

Les sites actuels de stockage de surface de l'Andra ne sont pas conçus pour accueillir ces déchets. .../...

La solution proposée repose sur un entreposage de décroissance dans des installations à construire à proximité des principaux sites de production (sites de Valduc, Marcoule, Cadarache...) après un traitement et un conditionnement des déchets par les producteurs.

Pour garantir un impact aussi faible que raisonnablement possible des installations d'entreposage sur l'environnement, compte tenu des caractéristiques du tritium et de sa mobilité, les déchets les plus dégazants, qu'ils soient tritiés purs ou tritiés irradiants, devront être soit détritiés, soit conditionnés dans des conteneurs étanches aux gaz avant leur prise en compte dans l'entreposage ; c'est le cas notamment des déchets produits par le centre de Valduc et par ITER.

3.1.2 Prévisions pour la période 2008-2030

Comme indiqué en préambule de ce chapitre, seuls les déchets correspondants à l'exploitation et au démantèlement des installations existantes ou « engagées »[20] à fin 2007, sont évalués.

Définir les productions de déchets à venir nécessite de formuler des hypothèses et de définir des scénarios sur les activités qui en sont à l'origine (voir paragraphe 2.3.3). Ces hypothèses et ces scénarios tiennent compte des évolutions éventuelles prévues par les industriels. Les scénarios relatifs à chaque secteur d'activité sont décrits en détail dans les différents sous-chapitres du chapitre 4.

Ces scénarios supposent une continuité des activités industrielles actuelles. On a ainsi supposé la poursuite de la production électronucléaire avec traitement de tous les combustibles à l'exception de certains combustibles civils (combustibles EL4 du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis, combustibles du réacteur de recherche Osiris, divers combustibles expérimentaux, combustibles de la filière de première génération « UNGG » non traités à ce jour).

Pour évaluer les prévisions à fin 2020 et fin 2030 de cet Inventaire national, les hypothèses retenues en ce qui concerne la constitution, l'exploitation et l'assainissement/démantèlement du parc électronucléaire et des usines de traitement de combustible, sont les suivantes :

Définir les productions de déchets à venir nécessite de formuler des hypothèses et de définir des scénarios sur les activités qui en sont à l'origine.

19 Les déchets produits par l'installation ITER ne sont pas pris en compte dans l'Inventaire national 2009 car la création de cette installation n'était pas autorisée à fin 2007 (décret d'autorisation de création non signé à fin 2007). Cette installation et une estimation des déchets qu'elle devrait produire sont toutefois présentées dans un encadré au sous-chapitre 4.5.

20 Décret d'autorisation de création signé.

- les réacteurs électronucléaires « engagés » sont au nombre de 59 : 58 réacteurs REP existants et 1 réacteur EPR (EPR de Flamanville) à partir de 2013 ;
- la durée d'exploitation est identique pour tous ces réacteurs et égale à 40 ans ;
- la production électrique d'origine nucléaire est de 430 TWh nets/an auxquels s'ajoutent 13 TWh/an à partir de 2013, date de mise en service de l'EPR de Flamanville ;
- le chargement/déchargement de combustibles en réacteurs est de 1 100 tML/an[21] (environ 1 000 tML d'UOX et 100 tML de MOX réparties dans les 22 réacteurs autorisés à fin 2007) auxquelles s'ajoutent à partir de 2010, 70 tML/an d'URE (chargement/déchargement de 4 réacteurs URE) ;
- des gestions prospectives (Hauts taux de combustion [HTC]) sont mises en œuvre ;
- les 6 réacteurs de la filière UNGG (Bugey 1, Chinon A1, A2, A3, Saint-Laurent A1, A2), le réacteur à eau lourde de Brennilis, le réacteur REP de Chooz A et le réacteur à neutrons rapides de Creys-Malville (Superphénix) sont à plus de 80 % démantelés à fin 2030 (le programme de démantèlement se termine à l'horizon 2035) ;
- le flux de traitement des combustibles usés à l'usine de La Hague est de 850 tML d'UOX/an jusqu'en 2030 (voir nota ci-dessous). Le traitement des combustibles MOX en mélange dans les UOX et les URE est, par hypothèse, considéré à partir de 2031 ;
- les usines de traitement de combustibles arrêtées, UP1 à Marcoule et UP2-400 à La Hague sont assainies et démantelées à fin 2030.

Le démantèlement des réacteurs REP actuellement en exploitation ne débutera pas avant 2030 soit 10 ans environ après l'arrêt des premiers d'entre eux, compte tenu de l'hypothèse de durée de vie retenue pour ces réacteurs (40 ans). De même, le démantèlement des usines de traitement de combustibles de La Hague UP2-800 et UP3, est envisagé par AREVA après 2030.

À fin 2030, les démantèlements d'une partie des installations actuelles des différents sites de recherche du CEA civil et du CEA/DAM (Direction des applications militaires) sont en cours.

Une évaluation de la totalité des déchets « engagés » dans le cadre de la poursuite de l'électronucléaire et les hypothèses complémentaires nécessaires à cette évaluation, sont présentées en annexe 2.

Nota :

Afin de permettre la compilation des données, l'Inventaire national (comme la plupart des rapports statistiques) présente un décalage temporel entre la date de référence pour les données (31 décembre 2007) et sa publication (juin 2009). Le périmètre de ce scénario et certaines des hypothèses présentées ci-dessus ont naturellement évolué depuis fin 2007. Ces évolutions seront prises en compte lors des prochaines mises à jour de l'Inventaire national.

Ainsi, devrait s'ajouter le moment venu (sous réserve de l'obtention du décret d'autorisation de création) aux 59 réacteurs électronucléaires retenus dans le présent Inventaire, un second réacteur EPR (site de Penly), annoncé début 2009 par le Président de la République.

21 tML : tonne de métal lourd.

Par ailleurs, EDF envisage d'augmenter le recyclage de matières radioactives issues du traitement des combustibles (uranium et plutonium) dans les réacteurs REP (voir sous-chapitre 4.2). Cet accroissement du recyclage s'accompagnera :

- d'une évolution plus lente et plus modérée des taux de combustion, l'objectif étant de maintenir à un niveau suffisant le potentiel énergétique des matières radioactives qui sont issues des combustibles après traitement ; par conséquent, les gestions prospectives évoquées ici n'ont pas encore fait l'objet d'une décision d'EDF ;
- d'une augmentation dès 2010 des flux de combustibles usés traités annuellement à La Hague (environ 1 000 tonnes par an au lieu de 850 tonnes actuellement) ; cette augmentation, sans impact sur les quantités de déchets totales, aura pour effet d'accélérer le rythme de conditionnement des déchets issus du traitement des combustibles.

3.1.2.1 Quantités prévisionnelles des stocks en 2020 et en 2030, tous secteurs d'activité confondus

Tableau 3.5 : quantités prévisionnelles des stocks de déchets (en m³ équivalent conditionné)

	Volumes existants à fin 2007 stockés ou entreposés	Volumes existants à fin 2020 stockés ou entreposés	Volumes existants à fin 2030 stockés ou entreposés
HA	2 293 dont 74 de combustibles usés	3 679 dont 74 de combustibles usés	5 060 dont 74 de combustibles usés
MA-VL	41 757	46 979	51 009
FA-VL	82 536	114 592	151 876
FMA-VC	792 695	1 009 675	1 174 193
TFA	231 688	629 217	869 311
TOTAL	**1 150 969**	**1 804 142**	**2 251 449**

Le tableau 3.5 appelle quelques commentaires :

- **HA**

  Durant cette période, la quantité de déchets HA est obtenue en considérant un flux qui dépend notamment du taux de combustion des combustibles usés livrés par EDF, qui va augmenter progressivement sur la période, et de l'amélioration du taux d'incorporation de produits de fission admissible dans les colis de déchets vitrifiés (voir chapitre 4.3)

- **MA-VL**

  Le stock à fin 2020 est inférieur de plus de 8% à celui présenté dans l'Inventaire national 2006. Les raisons évoquées au paragraphe 3.1.1.1 au sujet de la diminution du stock de déchets MA-VL à fin 2007 expliquent en partie la diminution du stock à fin 2020. La révision du ratio de production des colis de coques et embouts compactés (1 CSD-C par tonne de combustible traité pour l'Inventaire national 2006 ; 0,85 CSD-C par tonne pour le présent Inventaire) est le facteur principal de diminution du volume prévisionnel de déchets MA-VL entre 2008 et 2020.

La période 2008-2030[22] est par ailleurs marquée par les opérations de reprise et conditionnement des déchets anciens dont les volumes sont déjà comptabilisés dans les stocks à fin 2007.

- **FA-VL**

  L'augmentation de leur volume sur la période 2008-2030 est due aux démantèlements des réacteurs uranium naturel graphite gaz à partir de 2008 (il est rappelé que les structures en graphite contenues aujourd'hui dans les réacteurs ne sont pas comptabilisées comme déchets à fin 2007). Le démantèlement de l'ancien réacteur uranium naturel graphite gaz G1 de Marcoule est supposé débuter vers 2030. À cet égard, les déchets correspondants ne sont pas comptabilisés sur la période 2008-2030.

  Les déchets radifères produits sur cette période proviendront pour l'essentiel de l'assainissement de sites anciens et des industries non nucléaires (voir chapitre 4.9), en particulier des industriels (i) CEZUS qui produit des déchets radifères dans le cadre de la fabrication d'éponges de zirconium et (ii) RHODIA qui produira des résidus dans le cadre de la valorisation des Hydroxydes bruts de thorium (HBTh) et des Matières en suspension (MES), sous-produits du traitement des minerais de terres rares.

- **FMA-VC**

  La diminution de plus de 30% du flux prévisionnel de production par rapport au flux annoncé dans l'Inventaire national 2006 est essentiellement la conséquence d'un meilleur tri des déchets sur les installations productrices et de l'orientation vers la filière TFA d'une partie d'entre eux. Il faut toutefois noter, une production importante de déchets de démantèlement relevant de cette catégorie sur la période 2008-2030

- **TFA**

  Leur croissance sensible correspond à la mise en œuvre des programmes de démantèlement dans les prochaines années. Le démontage des équipements et la démolition des bâtiments produisent des déchets très faiblement actifs mais en quantité importante.

22 L'article 7 de la loi du 28 juin 2006 demande que « les propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 les conditionnent au plus tard en 2030 ».

À noter, la production de 37 000 m³ de blocs de béton pour le conditionnement du sodium de Superphénix. Ces colis devraient être fabriqués à l'horizon 2010 et rester entreposés sur site pendant une trentaine d'années, période à l'issue de laquelle ils relèveront de la filière de gestion TFA. Ces déchets, pour lesquels des solutions alternatives au stockage pourraient être envisagées, sont toutefois comptabilisés sur la période 2008-2020 dans le cadre de cette filière de gestion pour cet Inventaire national. Par ailleurs, sont également comptabilisées 120 000 tonnes (soit environ 110 000 m³) de déchets métalliques issues du démantèlement de l'usine EURODIF d'enrichissement par diffusion gazeuse Georges Besse I entre 2015 et 2023 ; ces déchets métalliques pourraient être valorisés dans la filière nucléaire[23] et à ce titre, ne plus relever de la filière TFA.

Les deux points précédents conduisent à considérer avec prudence les volumes de déchets TFA aux horizons 2020 et 2030 en regard des capacités de stockage actuelles du CSTFA (voir paragraphe 1.4.5).

Les volumes de déchets TFA aux horizons 2020 et 2030 en regard des capacités de stockage actuelles du CSTFA sont à considérer avec prudence.

3.1.2.2 Les stocks de déchets à fin 2020 et fin 2030 en regard des capacités d'entreposage

Comme indiqué au chapitre 2, les producteurs déclarent à l'Inventaire national pour cette édition et les suivantes, des informations sur les entreposages pour les déchets pour lesquels la solution de gestion définitive est encore à l'état de projet. Les filières de gestion concernées sont précisées dans l'arrêté ministériel du 9 octobre 2008. Font l'objet de déclarations, les entreposages accueillant des déchets relevant des filières de gestion HA, MA-VL, radifères et tritiés. Les empilements, réflecteurs des anciens réacteurs UNGG qui constitueront la plus grande part des déchets de graphite, n'étant pas démantelés à ce jour, les déchets de graphite ne sont pas concernés.

Le tableau 3.6 présente des informations sur ces entreposages, en particulier leur capacité totale d'accueil et la capacité occupée à fin 2007.

Par ailleurs, l'Andra est chargée par l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 dit décret « PNGMDR » (voir chapitre 2), d'étudier et de proposer aux ministres chargés de l'énergie, « les évolutions possibles en matière d'entreposage des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue » après avoir évalué les besoins correspondants. L'annexe 4 présente une première évaluation de ces besoins.

23 Des échanges entre AREVA et l'Andra sont en cours à ce sujet.

Tableau 3.6 : les entreposages de déchets HA, MA-VL, radifères et tritiés

Filière de gestion	Localisation (département)	Exploitant de l'entreposage	Nom de l'entreposage	Date de mise en service	Durée de vie ou date de fin d'exploitation prévisionnelle
HA	50	AREVA	R7	1989	2040
	50	AREVA	T7	1992	2040
	50	AREVA	EEV/SE	1996	2040
	30	CEA	AVM	1978	2035
	30	CEA	APM	1969	50 ans [24]
MA-VL	50	AREVA	ECC	2002	2040
	50	AREVA	EDS/EDT	1990	2040
	50	AREVA	EDS/ADT1	2006	2040
	50	AREVA	EDS/ADT2	2008	2040
	50	AREVA	EDS/EDC-A	1990	2040
	50	AREVA	EDS/EDC-B et EDS/EDC-C	1990	2040
	50	AREVA	Bâtiment S	1987	2040
	50	AREVA	Bâtiment ES	1995	2040
	30	CEA	EIP	2000	50 ans
	13	CEA	INB 56	1968	39 ans [25]
	13	CEA	CEDRA	2006	50 ans
Déchets tritiés	21	CEA/DAM	Installation individuelle d'entreposage des déchets solides tritiés	1982	50 ans
FA-VL radifères	17	RHODIA	Site Usine (Chef de Baie)	1988	30 ans
	38	CEZUS	Bâtiment 480	2005	-
	84	SOCATRI	Nord 1 (12 Q) et Nord 2 (13 Q)	2006	12 ans
	13	CEA	ICPE 420 et 465	1995	20 ans

24 Durée de vie prévisionnelle à l'ouverture de l'entreposage. Une autorisation de l'ASN sera nécessaire pour prolonger cette durée de vie.

25 Cette installation d'entreposage n'accueille plus de nouveaux colis depuis 2007.

26 Colis de sulfate de plomb radifères, coques béton de 500 litres contenant des boues de filtration, 870 litres avec fûts de 700 litres de concentrats, 870 litres faiblement irradiants, fûts de 500 litres moyennement irradiants, coques béton de 1 800 ou 1 000 litres, blocs sources, paratonnerres au radium.

27 Coques béton de 500 litres contenant des boues de filtration, 870 litres avec fûts de 700 litres de concentrats, 870 litres FI, fûts de 500 litres MI, coques béton de 1 800 ou 1 000 litres, blocs sources, paratonnerres au radium.

28 Les déchets radifères (7 226 m^3) de Rhodia ne sont pas les seules substances accueillies dans cet entrepôt. Sont également entreposés 4 500 m^3 de nitrate de thorium et 14 000 m^3 d'hydroxyde brut de thorium.

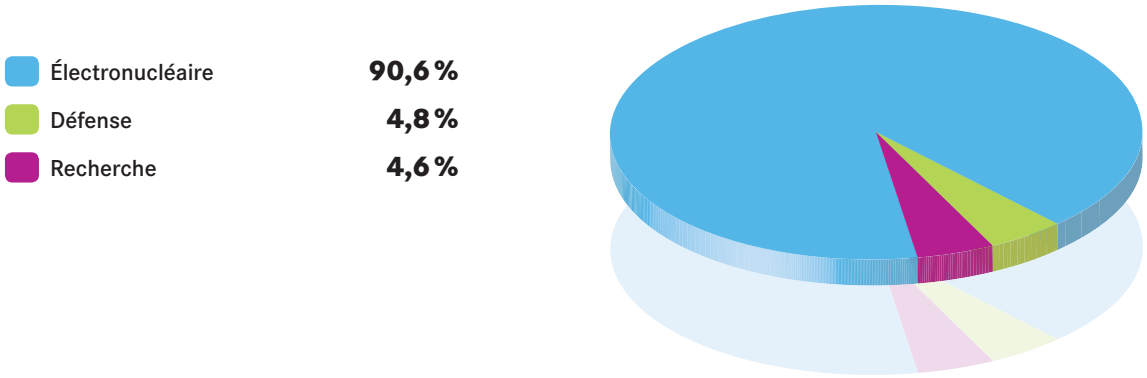
Colis de déchets pour lesquels l'entrepôt a été conçu	Colis de déchets entreposés à fin 2007	Capacité d'accueil de déchets totale (m^3)	Capacité occupée à fin 2007 (m^3)	Date effective ou prévisionnelle de mise en service de l'extension le cas échéant	Capacité de l'extension (m^3)
CSD-V CSD-B	CSD-V CSD-B	788	684	so	so
CSD-V	CSD-V	630	454	so	so
CSD-V	CSD-V	756	445	2 012	737
Colis de déchets vitrifiés AVM Colis de déchets d'exploitation de l'AVM	Colis de déchets vitrifiés AVM Colis de déchets d'exploitation de l'AVM	665	579	so	so
Verres PIVER	Verres PIVER	46	13	so	so
CSD-C	CSD-C	3 806	1 114	2 022	3 806
CBF-C'2 CAC	CBF-C'2 CAC	7 684	5 111	so	so
Colis FMA-VC	CBF-C'2 (entreposage temporaire)	779	219	so	so
CBF-C'2		3 186	0	so	so
Colis de coques et embouts cimentés		977	0	so	so
Colis de coques et embouts cimentés	Colis de coques et embouts cimentés	2 484	2 277	so	so
Colis de boues bitumées	Colis de boues bitumées	4 760	2 597	so	so
Colis de boues bitumées		6 426	0	so	so
Fûts EIP	Fûts EIP	4 235	2 276	2 012	4 235
Divers colis [26]	Divers colis [25]	7 500	7 425	so	so
Divers colis [27]	Colis 500 litres MI, 870 litres FI coques béton 500 litres de boues de filtration	6 000	618	2 014	6 350
Déchets tritiés	Déchets tritiés	3 100	2 368	2 012	3 000
Déchets radifères (RRA et RSB)	Déchets radifères (RRA et RSB)	56 980	25 726 [28]	so	so
Fûts de résidus radifères	Fûts de résidus radifères	3 538	1 929	so	so
	Paratonnerres et déchets d'assainissement	2 600	384	so	so
Fûts de résidus radifères	Fûts de résidus radifères	5950	5950	so	so

3.1.2.3 Stock des déchets par secteur économique à l'horizon 2030

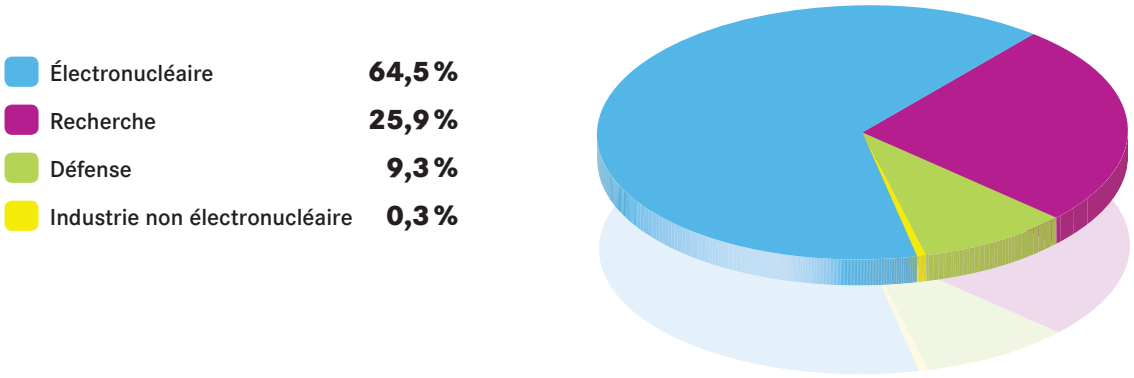
La répartition des déchets radioactifs par secteur économique (voir sous-chapitre 1.3) estimée par l'Andra est présentée pour chaque filière de gestion à fin 2030 sur les graphiques 3.20 à 3.24.

Pour les déchets de l'ensemble des filières de gestion, on note la part croissante du secteur économique électronucléaire, en particulier pour les déchets HA, FA-VL et TFA. Les opérations de démantèlements (réacteurs de première génération UNGG, réacteur Superphénix, installations de l'amont du cycle) sont principalement responsables de cette augmentation notable pour les filières de gestion FA-VL et TFA.

Graphique 3.20 : répartition en volume des déchets HA par secteur économique à fin 2030

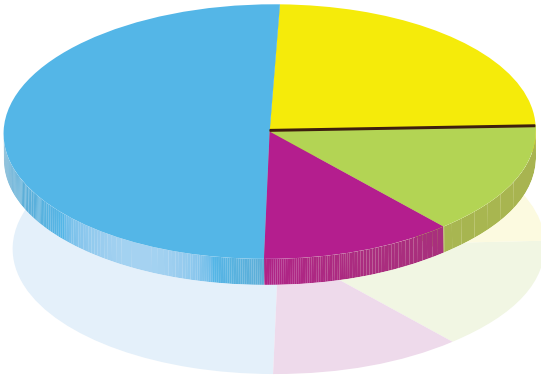


Graphique 3.21 : répartition en volume des déchets MA-VL par secteur économique à fin 2030



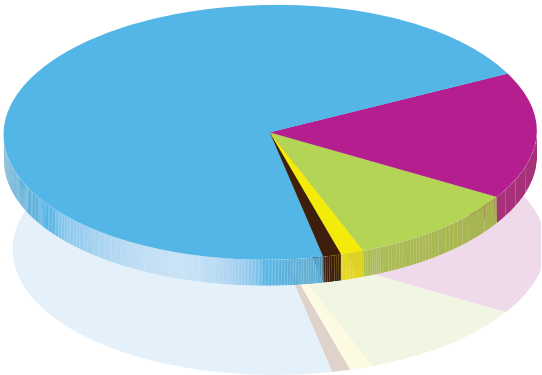
Graphique 3.22 : répartition en volume des déchets FA-VL par secteur économique à fin 2030

Électronucléaire	50,3 %
Industrie non électronucléaire	23,9 %
Défense	14,3 %
Recherche	11,5 %
Médical	0,01 %



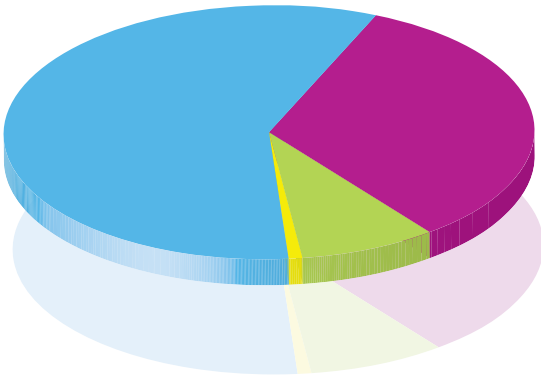
Graphique 3.23 : répartition en volume des déchets FMA-VC par secteur économique à fin 2030

Électronucléaire	71,1 %
Recherche	16,1 %
Défense	10,3 %
Industrie non électronucléaire	1,6 %
Médical	0,9 %



Graphique 3.24 : répartition en volume des déchets TFA par secteur économique à fin 2030

Électronucléaire	57,9 %
Recherche	33,2 %
Défense	8,2 %
Industrie non électronucléaire	0,7 %



3.1.2.4 Contenu radiologique

Le tableau 3.7 donne, en 2030, une estimation totale de la radioactivité des déchets. Ces estimations tiennent compte, sous une forme simplifiée, de la décroissance des déchets existants en 2007 et des nouveaux déchets engendrés sur la période.

Tableau 3.7 : estimation de la radioactivité fin 2030 (valeur en TBq, soit 10^{12} Bq)

	Alpha	Bêta-Gamma à vie courte	Bêta-Gamma à vie longue
HA	32 000 000	193 000 000	614 000
MA-VL	42 200	2 600 000	1 110 000
FA-VL	364	6 890	9 890
FMA-VC	1 090	12 840	10 100
TFA	4,9	3,7	0,7

3.1.2.5 Le démantèlement et le conditionnement des déchets sur la période 2008-2030

Les évolutions importantes en termes de gestion des déchets sur la période 2008-2030 sont d'une part la montée en puissance des opérations de démantèlement, d'autre part les opérations de reprise et de conditionnement de déchets anciens.

Le démantèlement

Comme l'industrie nucléaire est une industrie relativement récente (née au début des années 1960), les principaux chantiers d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires du cycle du combustible sont à venir, principalement après 2020.

Les principaux chantiers d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires du cycle du combustible sont à venir, principalement après 2020.

Les déchets induits sont de deux types : nucléaires ou conventionnels. Cette distinction résulte de la mise en place sur les installations nucléaires de base d'un découpage en zones, qui prend en compte l'histoire de l'installation et les opérations qui y ont été conduites.

Les déchets issus de zones à déchets conventionnels sont des déchets non radioactifs, qui ne sont donc pas gérés par les filières spécifiquement nucléaires. Les déchets issus des zones à déchets nucléaires radioactifs sont en principe tous considérés comme radioactifs, y compris si aucune radioactivité n'y est détectée. Ils sont classés par nature, et par activité radiologique (type de radionucléides, durée de vie, niveau d'activité).

Les déchets radioactifs produits lors des opérations de démantèlement sont principalement :

- des matériaux liés à la démolition des installations (béton, gravats, ferrailles, parois de boîtes à gants, tuyauteries...) ;
- des équipements de procédé décontaminés (pièces métalliques) ;
- des outils et tenues de travail (gants, tenues vinyle...) ;
- des effluents qui ont servi au rinçage d'équipements.

La préparation et la conduite des projets de démantèlement nécessitent, pour des raisons techniques et économiques, d'évaluer de façon la plus précise possible la quantité et la nature des déchets qui seront produits, ainsi que les moyens de traitement et de conditionnement à mettre en œuvre.

Pour ce faire, il convient en premier lieu de dresser un inventaire rigoureux des installations à assainir, des équipements qu'elles contiennent, et de leur niveau de contamination résiduelle. Une bonne connaissance de l'historique de l'exploitation de l'installation est à ce titre primordiale.

Les quantités de déchets sont évaluées par les exploitants en fonction du retour d'expérience d'opérations de démantèlement passées. Ce retour d'expérience est progressivement accumulé dans des bases de données, qui permettent de définir des « ratios techniques ». Ceux-ci permettent de calculer la quantité de déchets issue du démantèlement de chaque partie d'une installation en fonction de la nature et des caractéristiques techniques de celle-ci et des mesures de contamination radiologique qui y ont été réalisées. Ces évaluations prennent en compte la totalité des déchets produits par l'opération, y compris par exemple les volumes d'effluents engendrés par la décontamination. En fonction de leurs caractéristiques, des scénarios spécifiques de gestion permettent d'évaluer les quantités de déchets conditionnés et leur filière de gestion à long terme. Ces scénarios sont construits sur la base de la connaissance des installations de traitement et de conditionnement. Ils peuvent différer selon les producteurs, qui ont chacun une stratégie qui leur est propre pour démanteler leurs installations.

La majorité des déchets nucléaires issus des opérations de démantèlement des installations du cycle du combustible sont de catégorie TFA, et dans une moindre mesure de catégorie FMA-VC. Dans certains cas particuliers et en fonction de la nature de l'installation, ils peuvent également relever de la catégorie MA-VL. Le démantèlement des réacteurs de première génération uranium naturel graphite gaz produit des déchets FA-VL.

La reprise et le conditionnement des déchets anciens

Comme indiqué précédemment, l'article 7 de la loi du 28 juin 2006 impose aux propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 de les conditionner au plus tard en 2030.

L'article 7 de la loi du 28 juin 2006 impose aux propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 de les conditionner au plus tard en 2030.

Le tableau 3.8 présente la part de déchets conditionnés (voir notion de déchets conditionnés au sous-chapitre 2.3) à fin 2020 et fin 2030 pour chaque filière de gestion.

Les 5 % de déchets MA-VL qui ne sont pas conditionnés à fin 2030 correspondent à une faible part des déchets activés d'exploitation et de démantèlement du parc REP produits entre 2008 et 2030 ainsi qu'à une partie (environ 1 500 m^3) des fûts de bitumes anciens MA-VL entreposés dans les casemates de la STEL de Marcoule pour lesquels un reconditionnement est envisagé et qui n'auront pas encore été repris à cette date.

Nota :

Comme indiqué au paragraphe 3.1.1.4, le préconditionnement et le conditionnement constituent deux stades d'avancement différents du processus de conditionnement pour l'Inventaire national. La loi du 28 juin 2006, ne fait pas cette distinction. Au regard de la loi, les bitumes anciens MA-VL entreposés dans les casemates de la STEL de Marcoule, sont conditionnés.

Tableau 3.8 : évolution de la part des déchets conditionnés

	Part de déchets conditionnés à fin 2007	Part de déchets conditionnés à fin 2020	Part de déchets conditionnés à fin 2030
HA	89 %	98 %	100 %
MA-VL	49 %	75 %	95 %
FA-VL	10 %	46 %	88 %
FMA-VC	94 %	97 %	97 %
TOTAL	**85 %**	**91 %**	**96 %**

Pour l'ensemble des filières de gestion de déchets, les graphiques 3.25 à 3.30 illustrent sur un même graphe la progression du conditionnement des déchets existants en 2007 et la production de nouveaux déchets sur la période 2008-2030, selon les hypothèses des producteurs. Les prévisions de productions de déchets annoncées par les producteurs ne distinguent pas la part de déchets liée à l'exploitation[31] des installations de celle liée au démantèlement. Une estimation des parts respectives de ces déchets a toutefois été réalisée par l'Andra dans le cadre de cet Inventaire national, sur la base des données disponibles.

Ces graphiques mettent en regard :

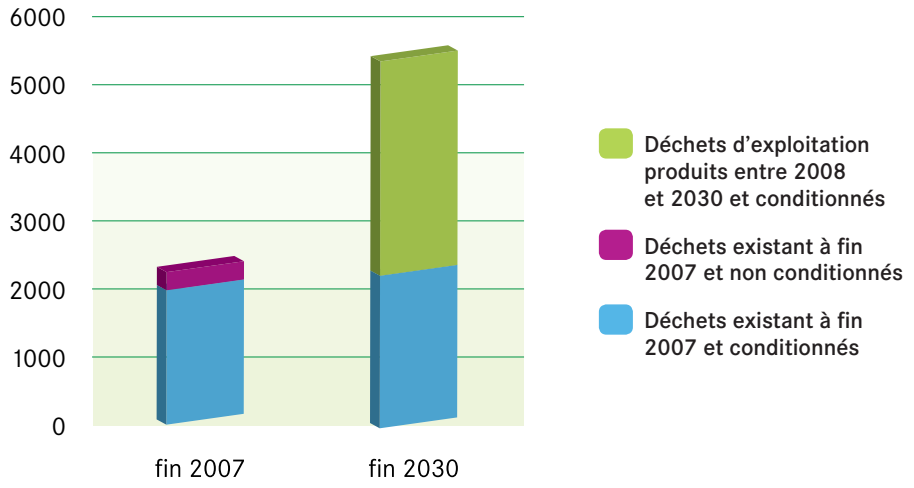
- la quantité de déchets existant en 2007 qui est sous forme conditionnée respectivement en 2007 et 2030 ;
- le stock de déchets existant en 2007 non conditionnés ou pré-conditionnés. Il s'agit essentiellement de déchets anciens entreposés sur les sites de La Hague, de Marcoule et de Cadarache. La progression des barres bleues montre l'évolution du conditionnement des déchets existants en 2007, entre 2008 et 2030 ;
- le stock de déchets d'exploitation produits entre 2008 à 2030 et conditionnés ;
- le stock de déchets d'exploitation produits entre 2008 à 2030 et non conditionnés ;
- les déchets engendrés par les opérations d'assainissement et de démantèlement de réacteurs, d'usines ou d'installations sur la période 2008-2030.

Le graphique spécifiquement présenté pour les déchets FA-VL de graphite permet d'apprécier la part encore importante des démantèlements à venir.

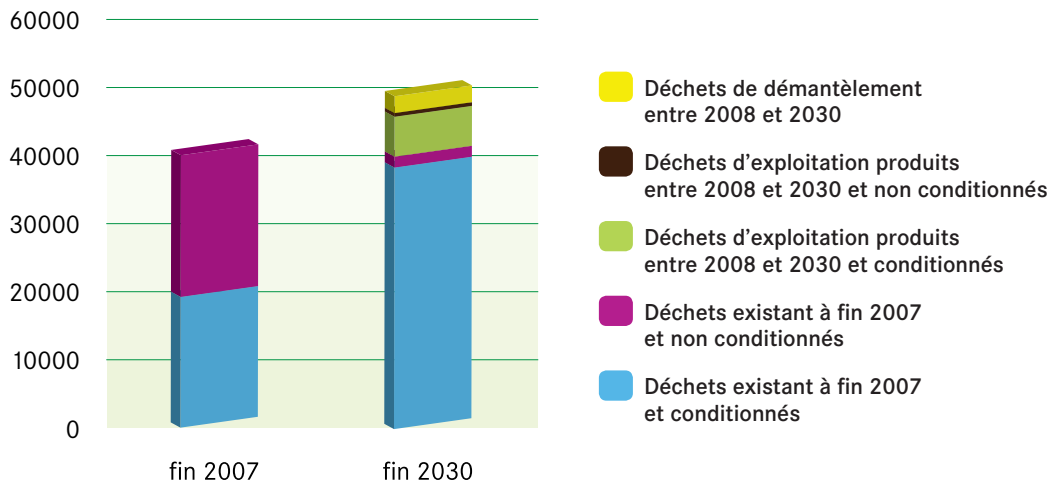
Les parts « conditionnée » et « non conditionnée » pour les déchets TFA ne sont pas distinguées, ceux-ci pouvant dans certains cas être acceptés en stockage sans conditionnement spécifique.

31 Les déchets d'exploitation incluent : les déchets directement issus des combustibles usés, conditionnés dans les usines de traitement (produits de fission vitrifiés, déchets de structure), les déchets liés à la maintenance des installations et au traitement des effluents générés par le fonctionnement de celles-ci.

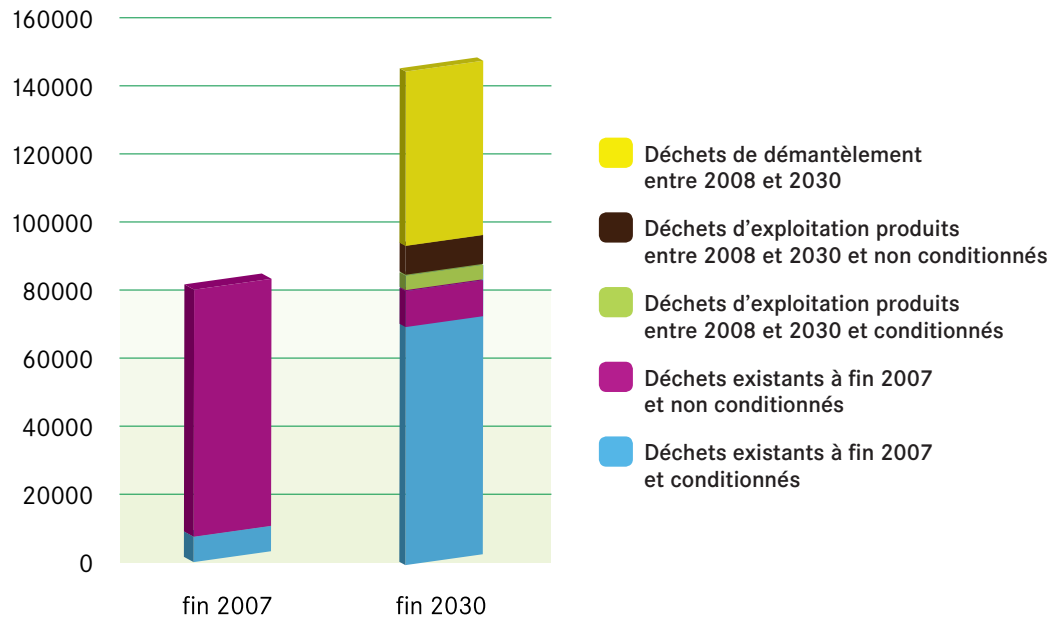
Graphique 3.25 : déchets HA (en m³ équivalent conditionné)



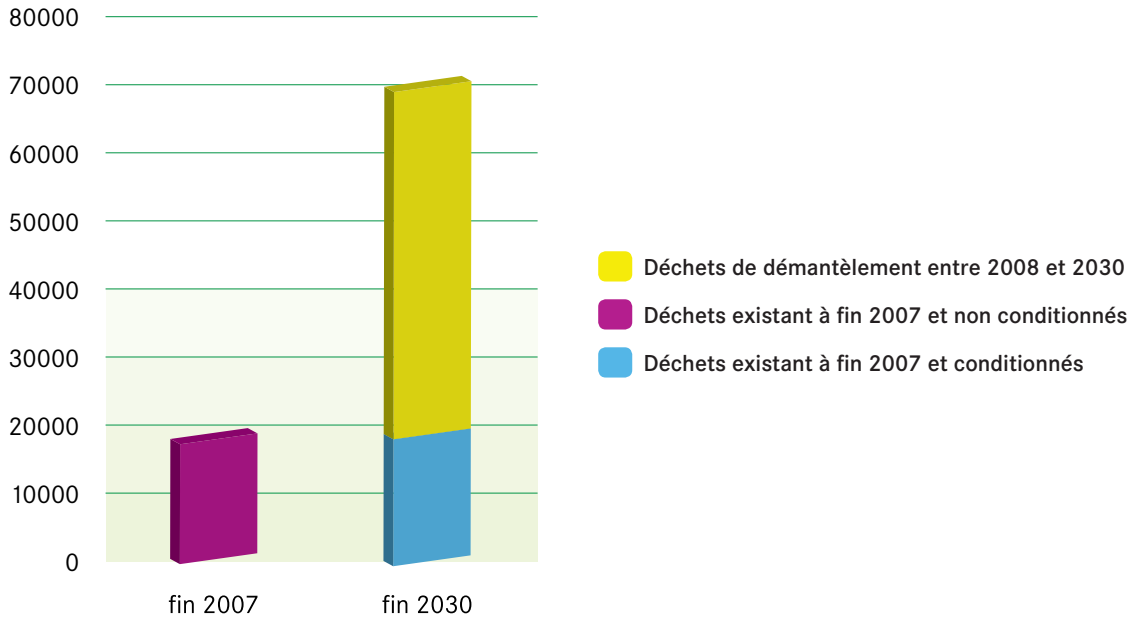
Graphique 3.26 : déchets MA-VL (en m³ équivalent conditionné)



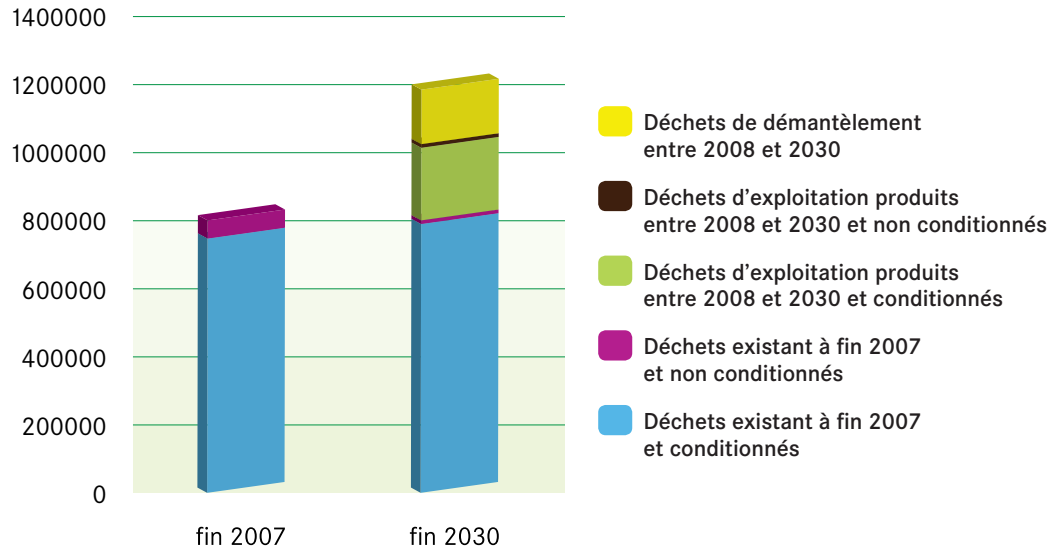
Graphique 3.27 : déchets FA-VL (en m³ équivalent conditionné)



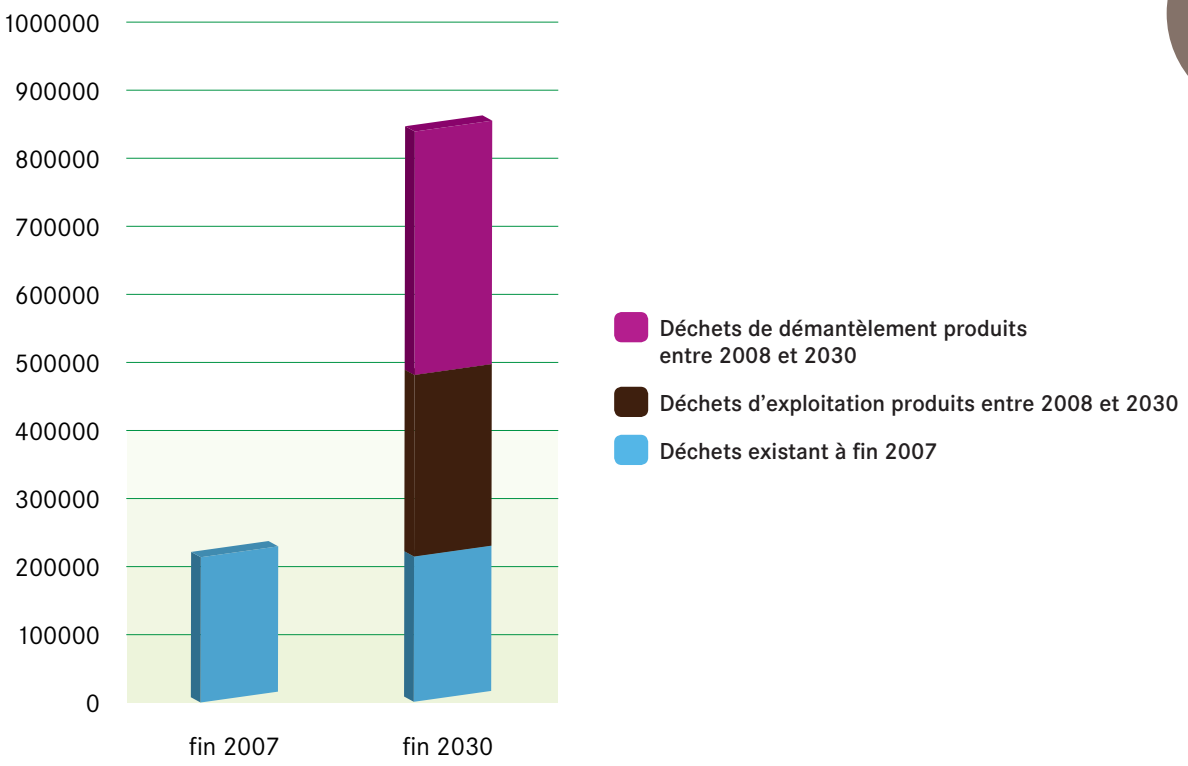
Graphique 3.28 : déchets FA-VL de graphite (en m³ équivalent conditionné)



Graphique 3.29 : déchets FMA-VC (en m³ équivalent conditionné)



Graphique 3.30 : déchets TFA (en m³)



3.1.3 Perspectives post 2030

3.1.3.1 Les déchets issus du démantèlement des installations nucléaires après 2030

Les déchets de démantèlement produits au-delà de 2030 sont présentés par filière de gestion dans le tableau 3.9. Il s'agit de volumes indicatifs, à plus d'un titre :

- d'une part, à une échéance aussi lointaine, il est vraisemblable que les techniques de démantèlement, aussi bien que la réglementation, auront évolué, tirant le retour d'expérience des opérations de démantèlement achevées. Les unes comme l'autre peuvent induire des modifications dans la nature et le volume des déchets produits ;
- d'autre part, ne sont pris en compte que les déchets des installations pour lesquelles leur propriétaire a fourni des données. On notera toutefois que pour les installations nucléaires de base, ces données sont par ailleurs évaluées par les exploitants au titre de l'article 20 de la loi du 28 juin 2006.

Le détail des installations prises en compte se trouve dans les différents sous-chapitres du chapitre 4, qui les présentent par secteur d'activité.

Tableau 3.9 : déchets de démantèlement après 2030 (en m³ équivalents conditionnés)

	Installations de l'amont et de l'aval du cycle (traitement du combustible)[32]	Parc actuel des centrales	Installations du CEA civil	Installations du CEA/DAM
MA-VL	3 000	6 000	750	0
FA-VL	0	0	5 700	6 000
FMA-VC	28 200	249 000	32 000	6 000
TFA	34 500	468 000	115 000	20 000

3.1.3.2 Les déchets « engagés »

L'Inventaire national n'a pas pour mission de définir des orientations de politique énergétique ; cette responsabilité appartient aux pouvoirs publics. Toutefois, comme dans l'Inventaire national 2006, il a été décidé pour cet Inventaire national de présenter, selon deux scénarios simples, ce que pourraient être les volumes de déchets produits par l'ensemble des installations actuelles jusqu'à leur fin de vie. On désigne ces déchets par le terme de « déchets engagés ». Les estimations réalisées dans le cadre de cet exercice sont des ordres de grandeur, qui reposent sur des hypothèses qui pourront évoluer au fil des Inventaires.

L'annexe 2 présente en détail ces estimations.

Les deux scénarios retenus dans le cadre de cet exercice sont les suivants :

- scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire avec traitement de tous les combustibles sauf certains combustibles civils (combustibles EL4 du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis, combustibles du réacteur de recherche Osiris, divers combustibles expérimentaux, combustibles de la filière de première génération UNGG non traités à ce jour). Ce scénario est celui retenu par l'Inventaire national pour évaluer les quantités de déchets prévisionnels à fin 2020 et fin 2030 (voir sous-chapitre 3.2) ;
- scénario 2 : non renouvellement de la production électronucléaire conduisant consécutivement à l'arrêt du traitement des combustibles et au stockage direct des combustibles usés résiduels. Ce scénario n'a pas actuellement de réalité industrielle ; il est purement illustratif.

Comme dans l'Inventaire national 2006, il a été décidé pour cet Inventaire national, de présenter selon deux scénarios simples, ce que pourraient être les volumes de déchets produits par l'ensemble des installations actuelles jusqu'à leur fin de vie.

32 Les déchets de démantèlement de l'usine UP1 ne sont pas comptabilisés dans cette estimation mais dans celle relative aux installations du CEA civil.

Ces deux scénarios ont des hypothèses communes :

- Des hypothèses déjà présentées au sous-chapitre 3.2 pour évaluer les déchets à fin 2020 et fin 2030 :
  - les réacteurs électronucléaires « engagés » sont au nombre de 59 : 58 réacteurs REP existants et 1 réacteur EPR (EPR de Flamanville) à partir de 2013 ;
  - la durée d'exploitation est identique pour tous ces réacteurs et égale à 40 ans ;
  - la production électrique d'origine nucléaire du parc REP est d'un peu plus de 17 000 TWh, soit en moyenne de 430 TWh nets/an auxquels s'ajoutent 13 TWh/an à partir de 2013, date de mise en service de l'EPR de Flamanville ;
  - des gestions prospectives (Hauts taux de combustion [HTC]) sont mises en œuvre ;
  - le chargement/déchargement de combustibles en réacteurs est de 1 100 tML/an[33] (environ 1 000 tML d'UOX, et 100 tML de MOX réparties dans les 22 réacteurs autorisés à fin 2007) auxquelles s'ajoutent à partir de 2010, 70 tML/an d'URE (chargement/déchargement de 4 réacteurs URE) ;
- Une hypothèse complémentaire, nécessaire pour évaluer la totalité des déchets engagés : l'intégralité des combustibles REP déchargés (y compris ceux des réserves de gestion et des derniers cœurs dont une fraction pourrait être réutilisée dans les réacteurs suivants) est prise en compte, soit au total environ 51 000 tML qui se décomposent comme suit : 50 300 tML (45 850 tML d'UOX, 1 550 tML d'URE et 2 900 tML de MOX) correspondant aux combustibles du parc REP existant et à l'EPR de Flamanville jusqu'en 2040, 420 tML de combustibles EPR de 2041 à 2052, 180 tML de combustibles RNR (Superphénix).

Scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire

Bien que la poursuite de l'électronucléaire suppose le renouvellement du parc de réacteurs, les déchets produits par ce futur parc (nouveaux réacteurs et à terme, réacteurs dits de « génération IV ») ne sont pas évalués car non engagés à ce jour.
Le flux de traitement des combustibles UOX est de 850 tML/an jusqu'en 2030 (comme indiqué au sous-chapitre 3.2). À l'horizon 2030, le flux de traitement est de 1 250 tML/an ; il correspond au début du traitement des combustibles MOX en mélange dans les UOX et les URE. Ce flux perdure jusqu'en 2043 puis les combustibles EPR résiduels de Flamanville sont traités en mélange dans les combustibles RNR de Superphénix jusqu'en 2055 soit 3 ans environ après l'arrêt de l'EPR de Flamanville.

Les volumes de déchets présentés dans ce contexte sont relatifs à l'ensemble des secteurs d'activité qui en sont à l'origine et prennent en compte :

- les stocks de déchets existants en 2030 ;
- les déchets d'exploitation produits au-delà de 2030 ;
- les déchets de démantèlement après 2030 (tableau 3.9).

Le détail des évaluations effectuées pour établir les déchets produits dans le cadre de ce scénario est donné en annexe 2. La synthèse des déchets produits par filière de gestion est présentée dans le tableau 3.10.

33 tML : tonne de métal lourd.

Tableau 3.10 : scénario de poursuite de la production électronucléaire (scénario 1) : volumes de déchets produits et à produire (démantèlements inclus) en m³ équivalent conditionné

HA	7 910 dont 74 de combustibles usés
MA-VL	65 300
FA-VL	164 700
FMA-VC	1 530 200
TFA	1 560 200

Nota :

les volumes présentés ci-dessus sont arrondis à la dizaine de m³ pour les déchets HA, à la centaine de m³ pour les déchets MA-VL, FA-VL, FMA-VC et TFA.

Ces évaluations sont entachées d'incertitudes qui peuvent être importantes. Pour cette raison, dans les études relatives au stockage des déchets, on peut être amené à prendre en compte des marges de sécurité supplémentaires pour définir les modèles d'inventaires de dimensionnement.
L'encadré 3.4 présente les capacités de stockage existantes ou en projet pour les différentes filières de gestion ainsi que les capacités occupées à fin 2007 pour les centres exploités par l'Andra.

Encadré 3.4 :

Les capacités des stockages existants ou en projet

Le sous-chapitre 1.4 présente les capacités de stockage des centres exploités par l'Andra : le Centre de stockage de la Manche (« plein »), les centres de stockage FMA et TFA de l'Aube. Dans le cadre des projets de stockage développés par l'Andra pour les filières de gestion HA, MA-VL et FA-VL (voir annexe 3), des capacités de stockage ont également été évaluées. Ces capacités reposent sur des inventaires « enveloppe » élaborés par l'Andra. Les modèles d'inventaire, préliminaires dans le cas des déchets FA-VL (MIP), ou de dimensionnement dans le cas des déchets HA et MA-VL (MID), comprennent en effet des marges notamment en terme de capacité volumique.

Le tableau suivant présente les capacités volumiques des stockages exploités par l'Andra existants ou futurs.

Filière de gestion	Capacité existante ou prévue (en m³)	Capacité occupée à fin 2007 (en m³)
HA	6 330*	0**
MA-VL	81 105*	0**
FA-VL (de graphite)	100 000 (soit 23 000 t)	0**
FA-VL (radifères)	70 000 (soit 60 000 t)	0**
FMA-VC	1 527 000 (CSM + CSFMA)	735 053
TFA	650 000	89 336

*Ces capacités ont été évaluées dans le cadre du dossier de faisabilité du stockage profond en 2005, sur la base d'un tonnage de combustibles usés à traiter de 45 000 tML et d'un scénario de poursuite de l'électronucléaire. Elles sont en cours de réévaluation dans le cadre des études de conception de stockage profond sur la base d'un tonnage de combustibles usés à traiter plus élevé (l'augmentation du tonnage déchargé est liée à l'accroissement du périmètre énergétique et à l'hypothèse conservative de traitement de combustibles partiellement irradiés (derniers cœurs, réserves de gestion). Ce tonnage de combustible est comparable à celui présenté dans le présent Inventaire national.

**Centre de stockage en projet.

Scénario 2 : non renouvellement de la production électronucléaire

L'hypothèse d'une durée de vie prévisionnelle de 40 ans pour tous les réacteurs conduit à arrêter vers 2020 le premier de ceux qui sont aptes à recycler du plutonium sous forme de combustible MOX et vers 2030 le dernier d'entre eux.

La quantité de plutonium nécessaire pour alimenter jusqu'en fin de vie les 22 tranches « moxables » à ce jour, est calculée à l'appui de l'échéancier de leur mise à l'arrêt définitif. Déduction faite des stocks de plutonium existants à fin 2007 et compte tenu des apports liés au traitement à venir sur la base du flux annuel de 850 tonnes de combustibles UOX, un calcul réalisé par EDF montre que c'est en 2019 qu'il conviendrait de cesser définitivement les opérations de traitement, dans l'objectif d'aboutir à un stock de plutonium séparé nul (c'est-à-dire hors plutonium contenu dans les combustibles usés) lorsque le dernier réacteur moxé s'arrêtera en 2030. Cette date diffère légèrement de celle annoncée dans l'Inventaire national 2006 (2017) pour le même scénario. En effet, le traitement des combustibles RNR de Superphénix n'étant envisagé par EDF que dans la perspective de déploiement d'un futur parc, ces combustibles ne sont pas traités dans ce scénario ; le déficit de plutonium correspondant conduit ainsi à décaler à 2019 la date d'arrêt du traitement.

L'arrêt du traitement en 2019 conduit à considérer les combustibles usés non traités à cette échéance (près de 28 000 tonnes) comme des déchets et à ne plus comptabiliser, à partir de cette date, d'autres déchets que les déchets de démantèlement pour les installations de traitement. En revanche, les usines de l'amont du cycle et les réacteurs EDF encore en exploitation continueraient à produire des déchets.

Le détail des évaluations effectuées dans le cadre de ce scénario est présenté en annexe 2.

La synthèse des déchets produits par filière de gestion est présentée dans le tableau 3.11.

Tableau 3.11 : scénario de non renouvellement de la production électronucléaire (scénario 2) : volumes de déchets produits et à produire (démantèlements inclus) en m^3 équivalent conditionné

HA (combustibles usés) **HA (déchets vitrifiés)**	89 000 (28 000 tonnes) 3 500
MA-VL	58 900
FA-VL	164 700
FMA-VC	1 466 500
TFA	1 500 300

Nota 1 :

Les volumes présentés ci-dessus sont arrondis à la dizaine de m^3 pour les déchets HA vitrifiés, à la centaine de m^3 pour les déchets MA-VL, FA-VL, FMA-VC et TFA et au millier de m^3 pour les combustibles usés.

Nota 2 :

On rappelle que, dans l'Inventaire national, les déchets sont déclarés en volume équivalent conditionné, c'est-à-dire en volume occupé par le déchet avant sa prise en charge par le gestionnaire à long terme (en général, l'Andra). D'éventuels compléments qui seraient ajoutés au moment du stockage ne sont pas pris en compte (à titre d'exemple, les hypothèses du stockage profond de déchets MA-VL prévoient leur regroupement dans des conteneurs en béton). Les 28 000 tonnes de combustibles usés qui resteraient sans emploi dans ce scénario représentent environ 11 000 m^3 d'assemblages « nus » et environ 89 000 m^3 une fois placés dans des conteneurs adaptés pour un stockage profond, selon les hypothèses de conditionnement en conteneur de stockage retenues par l'Andra dans le dossier de faisabilité du stockage profond en 2005 (on suppose que le millier d'assemblages RNR Superphénix est conditionné comme des combustibles MOX).

Nota 3 :

En 2019, date d'arrêt du traitement des combustibles usés, le stock d'uranium appauvri serait proche du stock à fin 2020 (voir sous-chapitre 3.2) soit environ 332 000 tonnes.

les matières radioactives

3.2

Les matières radioactives possèdent un potentiel de valorisation et dès lors ne sont pas considérées comme des déchets, tant par leurs détenteurs que par les pouvoirs publics. Une matière radioactive est définie dans l'article L542-1-1 du code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006 comme « une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement » (voir chapitre 1).

Sont présentées dans ce chapitre, les matières radioactives suivantes :

- l'uranium naturel extrait de la mine ;
- l'uranium enrichi ;
- l'uranium issu de combustibles usés après traitement (URT) ;
- l'uranium appauvri ;
- le thorium ;
- les matières en suspension (sous-produit du traitement des terres rares) ;
- les combustibles en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires et dans les réacteurs de recherche ;
- les combustibles usés en attente de traitement ;
- le plutonium issu des combustibles usés après traitement.

Une matière radioactive est définie comme une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.

Certaines matières sont déjà réutilisées à l'heure actuelle, comme le plutonium et une partie de l'uranium appauvri dans les combustibles MOX par exemple, d'autres sont entreposées en attente.

Les quantités de matières radioactives recensées à fin 2007 ainsi que les sites[34] sur lesquels sont entreposées ces matières radioactives sont présentées ci-dessous.

L'uranium naturel extrait de la mine

Au 31 décembre 2007, environ **27 600 tonnes d'uranium naturel extrait de la mine** étaient entreposées sur les sites AREVA de Malvési (11), du Tricastin (26) et pour une faible part, sur les sites de La Hague (50), de Romans (26) et du CEA.

L'uranium naturel est extrait des mines (toutes les mines françaises sont désormais fermées et l'uranium naturel est importé de l'étranger) puis transformé en uranium enrichi en vue de fabriquer le combustible.

34 Le site du Tricastin qui apparaît à plusieurs reprises se trouve implanté sur les départements de la Drôme (pour la plus grande partie) et du Vaucluse. Il est attribué par convention au département de la Drôme.

L'uranium enrichi

L'enrichissement consiste à augmenter la concentration en uranium 235 (isotope énergétique trop faiblement présent dans l'uranium naturel) de façon à obtenir une matière utilisable comme combustible dans les centrales nucléaires à eau légère.

Le procédé d'enrichissement mis en œuvre par l'usine Georges Besse I d'EURODIF est celui de la diffusion gazeuse. L'uranium, sous forme de gaz, circule dans des diffuseurs qui vont effectuer un tri entre uranium 235 et uranium 238 en tirant parti de leur différence de masse.
Deux flux sont ainsi créés : l'un enrichi et l'autre appauvri en isotope 235.

Au 31 décembre 2007, environ **3 300 tonnes d'uranium enrichi** étaient entreposées sur les sites AREVA du Tricastin (26), de La Hague (50), de Romans (26) et de Pierrelatte (26), sur les sites du CEA, ainsi que sur les sites EDF sous forme d'assemblages UOX neufs.

L'uranium appauvri (Uapp)

L'uranium appauvri en uranium 235, isotope présent avec une teneur de l'ordre de 0,3 %, est transformé en une matière solide, stable, incombustible, insoluble et non corrosive : l'oxyde d'uranium (U_3O_8), qui se présente sous la forme d'une poudre noire.

Au 31 décembre 2007, de l'ordre de **254 800 tonnes d'uranium appauvri** (Uapp) étaient entreposées en France dont environ 149 100 tonnes sur le site AREVA du Tricastin (26), environ 104 600 tonnes sur le site AREVA de Bessines-sur-Gartempe (87), 124 tonnes sur les sites CEA ; le reste correspondant principalement à des en-cours liés à la fabrication du combustible MOX ainsi qu'aux stocks entreposés sur les sites EDF, sous forme d'assemblages MOX et RNR neufs.

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 (30). Ce flux représente environ une centaine de tonnes par an.

Par ailleurs, il peut apparaître un intérêt économique à réenrichir de l'uranium appauvri. En effet, la hausse du cours de l'uranium naturel conduit à diminuer les teneurs de rejet des usines d'enrichissement. Ce qui s'entend aussi en termes d'intérêt à mobiliser les quantités d'uranium appauvri produites lors de périodes à uranium bon marché : les prix élevés atteints par l'uranium naturel permettent en effet, dès à présent, d'exploiter le différentiel de teneur en U235 entre les appauvris les plus riches et les taux des appauvris actuellement produits. Ainsi, une première campagne de réenrichissement, portant sur environ 8 000 tonnes d'uranium appauvri, a été engagée par AREVA.

D'ici quelques années, l'évolution des techniques d'enrichissement, avec la centrifugation, permettra, aux conditions économiques adéquates, de réenrichir des appauvris de teneurs encore plus basses. Ainsi, pour les quelques prochaines décennies, c'est l'ensemble des stocks actuels d'uranium appauvri (dénommé ici Uapp « primaire ») qui sera mobilisé pour réenrichissement. Le rythme dépendra à la fois du prix du marché de l'uranium naturel et des capacités industrielles. Ces opérations pourront s'étager sur 30 à 50 ans, durée semblable à celle de la constitution des stocks actuels. De nouveaux stocks d'uranium appauvri seront constitués : de l'Uapp secondaire (à un taux d'enrichissement de l'ordre de 0,2 %).

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.

Parallèlement, de nouvelles technologies, telles que l'enrichissement par laser, devraient permettre une séparation encore plus poussée. Une usine d'enrichissement laser fondée sur le procédé Silex (Separation of isotopes by laser excitation) est actuellement en construction aux USA. À terme, il apparaît que les appauvris secondaires issus du réenrichissement évoqué ci-dessus seraient à même d'être réenrichis une nouvelle fois. Ils donneront alors lieu à de l'Uapp tertiaire (avec un objectif de taux d'enrichissement inférieur à 0,1 %).

Bien entendu, cette vision en phases bien distinctes est en partie théorique et les stocks contiendront en même temps de l'Uapp secondaire et tertiaire, avec des possibilités par exemple de réenrichissement direct des stocks d'Uapp primaire par laser.

À long terme enfin, les stocks d'Uapp secondaire, voire tertiaire pourront également être valorisés à grande échelle dans les réacteurs à neutrons rapides (RNR) de quatrième génération. Ces réacteurs brûlent en effet l'uranium 238. Il est d'ores et déjà connu que ces réacteurs fonctionneront avec des combustibles constitués de plutonium et d'uranium appauvri. Ces matières seront fournies, d'une part, par le traitement ultérieur des combustibles UOX et MOX pour le moment entreposés et, d'autre part par l'uranium appauvri issu des opérations d'enrichissement.

Ainsi, avec la prochaine génération de RNR, attendue après 2040, les techniques de recyclage des combustibles usés permettront de valoriser pleinement l'Uapp de l'époque. Les stocks d'Uapp secondaires et tertiaires représenteront donc une réserve considérable.

L'uranium issu de combustibles usés après traitement (URT)

L'uranium extrait des combustibles usés (URT) dans les usines de traitement constitue environ 95 % de la masse du combustible usé et contient toujours une part significative d'isotope 235. L'enrichissement résiduel en uranium 235 est de l'ordre de 0,7% à 0,8% pour des combustibles REP avec des taux de combustion de 45 à 55 000 MWj/t. Pour être réutilisé dans des réacteurs à eau légère, tels que ceux exploités actuellement par EDF, un réenrichissement est nécessaire.

L'URT est entreposé soit sous forme d'UF_6, soit sous forme d'U_3O_8 en fonction du mode de gestion choisi (réenrichissement pour fabrication de combustible ou entreposage).

L'URT français appartient principalement à l'électricien EDF, et pour partie à AREVA et au CEA.

Au 31 décembre 2007 **21 180 tonnes d'URT** étaient entreposées (hors de faibles en-cours de nitrate d'uranyle non convertis à cette date) sur les sites AREVA du Tricastin (26) et de La Hague (50).

L'URT est recyclé en partie par EDF (actuellement dans deux réacteurs de la centrale de Cruas) après réenrichissement en uranium 235. La quantité d'URT recyclée dépend fortement de l'état du marché de l'uranium naturel, avec lequel l'URT est en compétition.

Au 31 décembre 2007, de l'ordre de **2 770 tonnes d'URT** étranger sont entreposées en France. Cet URT est la propriété des clients étrangers d'AREVA, la stratégie de ceux-ci étant le recyclage sous forme de combustible.

Le thorium

Le thorium se présente sous la forme d'hydroxyde de thorium ou de nitrate de thorium. Dans le cadre de ses activités de traitement de minerai de terres rares, la société RHODIA ELECTRONICS & CATALYSIS a produit :

- entre 1970 et 1987, un composé issu du traitement en voie chlorure de la monazite : l'hydroxyde brut de thorium (HBTh) ;
- jusqu'en 1994, du nitrate de thorium, issu du traitement en voie nitrate de la monazite.

Au 31 décembre 2007, environ 7134 tonnes de thorium étaient entreposées sous forme de nitrate et d'hydroxydes sur le site de l'usine RHODIA ELECTRONICS & CATALYSIS de La Rochelle (17).

À cela s'ajoutent 2 265 tonnes de thorium appartenant majoritairement à AREVA, entreposées sur le site CEA de Cadarache (13). Au total, **9 399 tonnes de thorium** étaient entreposées à fin 2007 sur les sites de La Rochelle et de Cadarache.

Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont issues du traitement de neutralisation des effluents chimiques produits sur l'usine de RHODIA ELECTRONICS & CATALYSIS. En moyenne 25% d'oxydes de terres rares sont contenus dans ces MES.

Au 31 décembre 2007, **21 672 tonnes de MES**, sous-produit du traitement des terres rares étaient entreposées sur le site de l'usine RHODIA ELECTRONICS & CATALYSIS de La Rochelle (17).

Les combustibles en cours d'utilisation et les combustibles usés

Il existe, à tout moment, des stocks de combustibles en cours d'utilisation ou usés. Ceux-ci sont considérés par leurs propriétaires comme des matières radioactives valorisables du fait de l'uranium et du plutonium qu'ils contiennent. On distingue en général :

- **les combustibles à l'oxyde d'uranium**, les plus nombreux. EDF utilise essentiellement des combustibles à l'uranium naturel enrichi (UOX), et en moindre quantité des combustibles à l'uranium de traitement réenrichi (URE) ;
- **les combustibles mixtes oxyde d'uranium - oxyde de plutonium (MOX)**, qu'EDF est autorisée à mettre en œuvre dans certaines de ses centrales ;
- **les combustibles Superphénix** à neutrons rapides (RNR), qui ne sont plus utilisés (centrale mise à l'arrêt définitif) ;
- **les combustibles du CEA civil**, qui sont utilisés dans des réacteurs particuliers à des fins de recherche. Ceux-ci sont plus variés en forme et en composition physicochimique que les combustibles EDF. Ils sont aussi beaucoup moins nombreux ;
- **les combustibles de la défense nationale,** utilisés soit dans les réacteurs destinés à la fabrication de matière pour la force de dissuasion, soit dans les réacteurs embarqués des sous-marins.

La stratégie d'EDF consiste à faire traiter prioritairement les combustibles à l'oxyde d'uranium naturel enrichi. Les combustibles à base d'URE et les combustibles MOX seront traités aux environs de 2030.

Les combustibles d'EDF, une fois déchargés, sont entreposés pour décroissance dans des piscines, d'abord dans la centrale même, puis dans l'usine de La Hague.

- **Les combustibles en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires et dans les réacteurs de recherche**

Étaient en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires françaises au 31 décembre 2007 :

- environ **4 500 tML de combustibles UOX** dans les 19 centrales électronucléaires REP françaises ;
- environ **79 tML de combustibles URE** dans les 2 réacteurs de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ;
- environ **290 tML de combustibles MOX** dans les centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent B (41) et du Tricastin (26) ;
- environ **5 tML de combustibles (dont environ 3 tML de combustibles RNR Phénix)** dans les réacteurs expérimentaux du CEA.

- **Les combustibles usés en attente de traitement**

Étaient entreposés en attente de traitement à fin 2007 :

- **combustibles UOX usés :** environ **3584 tML** sur les sites des 19 centrales électronucléaires REP françaises ; environ **7920 tML (dont 7910 pour la part française)** sur le site de La Hague (50) ;
- **combustibles URE usés :** environ **31 tML** sur le site de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ; environ **220 tML** sur le site de La Hague (50) ;
- **combustibles MOX usés :** environ **308 tML** sur les sites des centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent B (41) et du Tricastin (26) ; environ **720 tML (dont 710 pour la part française)** sur le site de la Hague (50) ;
- **combustibles RNR usés : 104 tML** sur le site de Creys-Malville (38) ;
- **combustibles usés des réacteurs civils de recherche :** environ **41 tML (dont environ 40 tML de combustibles RNR usés Phénix)** sur les sites du CEA ; **1 tonne** sur le site de La Hague (50) ;
- **combustibles usés de la Défense nationale :** environ **141 tonnes**.

Nota :

Certains combustibles usés de la Défense nationale (combustibles métalliques de la propulsion nucléaire) pourraient ne pas être traités et à cet égard devenir des déchets.

Le plutonium issu des combustibles usés après traitement

Le plutonium contenu dans les assemblages combustibles usés est extrait de ceux-ci lors de leur traitement. Un combustible usé à l'uranium de type eau légère contient aujourd'hui environ 1 % de plutonium (en masse). Ce plutonium présente un potentiel énergétique.

Une fois mis en solution, extrait et séparé des autres matières contenues dans le combustible usé, le plutonium est purifié et conditionné sous forme stable de poudre PuO_2 dans les ateliers R4 et T4 de La Hague.

Le plutonium est aujourd'hui utilisé pour fabriquer le **combustible MOX**, qui comporte de l'uranium appauvri et du plutonium sous la forme de pastilles de poudre d'oxydes $(U,Pu)O_2$. En France, 22 réacteurs sont aujourd'hui autorisés à utiliser du combustible MOX dont la contribution à la production électronucléaire représente un peu moins de 10 %.

Le plutonium extrait des combustibles usés appartient aux clients d'AREVA, électriciens français ou étrangers. En général, le plutonium est expédié aux clients étrangers sous forme de combustible MOX, pour être utilisé dans des réacteurs étrangers.

Au 31 décembre 2007, environ **82 tonnes de plutonium** étaient entreposées en France, dont :

- 61 tonnes de Pu séparé et entreposées à La Hague ;
- 10 tonnes de Pu en cours d'utilisation dans le processus de fabrication de combustibles MOX (sous forme de PuO_2, d'oxyde mixte $(U,Pu)O_2$ ou encore en assemblages MOX finis) ;
- 9 tonnes de Pu en assemblage MOX ou RNR non-irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF ;
- environ 2 tonnes de Pu entreposées dans diverses installations du CEA.

Sur ces 82 tonnes, **60 tonnes sont de propriété française.** Parmi ces 60 tonnes, le stock de Pu séparé d'EDF à La Hague correspond à 29 tonnes environ, soit 3 années de fabrication de combustible MOX.

Le stock de plutonium relevant des activités militaires est couvert par le secret défense.

Les matières radioactives à fin 2007 ainsi que les prévisions de production de matières à fin 2020 et fin 2030 sont présentées dans le tableau 3.12. Quand ces matières sont des en-cours, c'est-à-dire qu'elles ne sont entreposées qu'à titre provisoire entre deux étapes d'un procédé industriel, les prévisions de stocks pour 2020 et 2030 sont indicatives car elles dépendent du choix de gestion que chaque industriel fera en fonction des conditions économiques du moment.

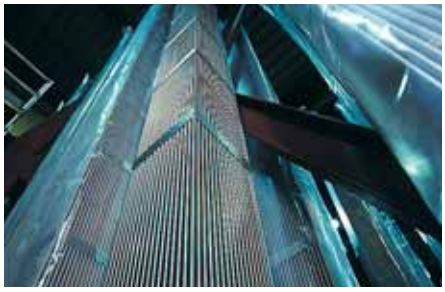
Pour les matières associées au cycle du combustible nucléaire, les scénarios de production pour 2020 et 2030 sont les mêmes que ceux qui ont été utilisés pour les déchets (voir sous-chapitre 3.1).

Tableau 3.12 : matières radioactives à fin 2007, fin 2020 et fin 2030

		2007	2020	2030	
Uranium naturel extrait de la mine (en tML)		27 600	32 000	32 000	sites AREVA
		13	13	13	sites CEA
		27 613	**32 013**	**32 013**	**au total**
Uranium enrichi (en tML)		2 950	1 400	2 350	sites AREVA
		342	350	350	sites EDF
		14	14	14	sites CEA
		3 306	**1 764**	**2 714**	**au total**
Uranium issu de combustibles usés après traitement (URT) (tML)		**21 180**	**36 000**	**49 000**	sites AREVA
Uranium appauvri (tML)		254 600	332 100	452 100	sites AREVA
		96	100	100	sites EDF
		124	124	124	sites CEA
		254 820	**332 324**	**452 324**	**au total**
Thorium (t)		7 134	7 134	7 025	site RHODIA
		2 265	2 265	2 265	sites CEA
		9 399	**9 399**	**9 290**	**au total**
MES (matières en suspension) (t)		**21 672**	**0**	**0**	site RHODIA
Combustibles en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires et dans les réacteurs de recherche (tML)	UOX	**4 500**	**3 860**	**1 100**	sites EDF
	URE	**80**	**290**	**0**	sites EDF
	MOX	**290**	**440**	**0**	sites EDF
	Recherche	**5**			sites CEA
Combustibles usés en attente de traitement	UOX (tML)	3 584	3 500	1 200	sites EDF
		7 920	9 950	9 800	sites AREVA
		11 504	**13 450**	**11 000**	**au total**
	URE (tML)	31	120	120	sites EDF
		220	900	1 200	sites AREVA
		251	**1 020**	**1 320**	**au total**
	MOX (tML)	308	420	650	sites EDF
		720	1 900	1 900	sites AREVA
		1 028	**2 320**	**2 550**	**au total**
	RNR (tML)	**104**	**104**	**104**	sites EDF
	Combustibles expérimentaux (t)	41	0	0	sites CEA
		1	0	0	sites AREVA
		42	**0**	**0**	**au total**
	Combustibles de la Défense nationale (t)	**141**	**230**	**298**	CEA/DAM
Plutonium issu du combustible usé après traitement (tML)		9	10	10	sites EDF
		2	2	2	sites CEA
		71	43	41	sites AREVA
		82	**55**	**53**	**au total**

inventaire par secteur d'activité

inventaire par secteur d'activité



Ce chapitre présente pour chacun des **douze secteurs d'activité** (définis au sous-chapitre 1.3), les matières et déchets radioactifs répertoriés au 31 décembre 2007 et estimés aux horizons 2020 et 2030.

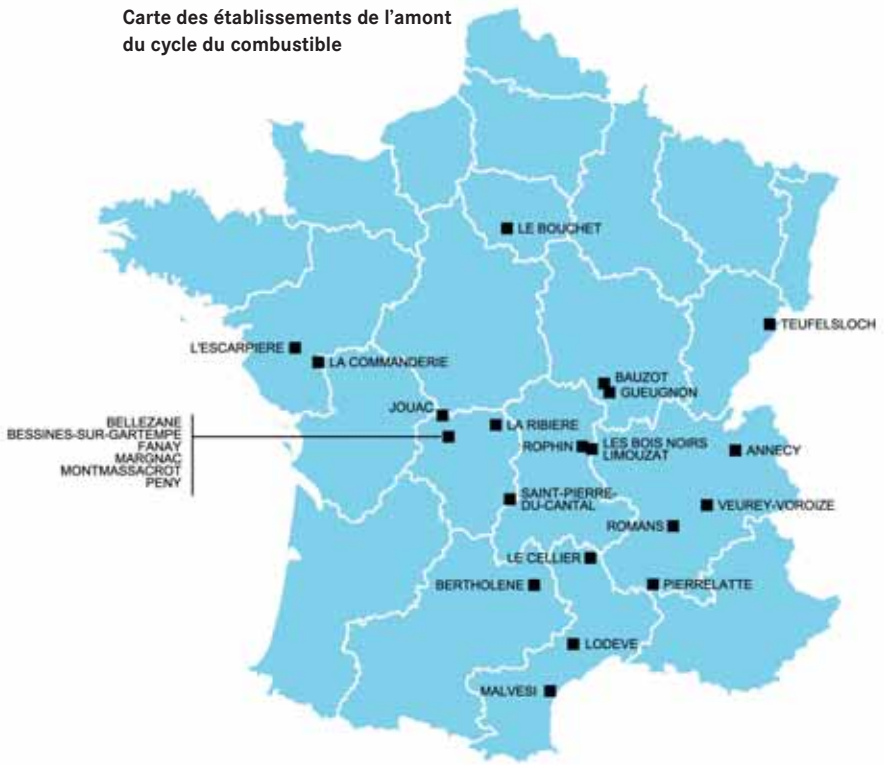
La présentation retenue pour chaque secteur d'activité est la suivante :

- description du secteur d'activité et, le cas échéant, des principaux sites concernés ;
- principaux types de déchets produits par l'activité. L'état détaillé par site des stocks répertoriés au 31 décembre 2007 est présenté dans l'Inventaire géographique disponible séparément ;
- scénarios retenus pour les prévisions sur la période 2008-2030 ;
- bilans des déchets produits par filière de gestion pour l'activité concernée. Sont ainsi présentés les stocks de déchets par filière de gestion en 2007, 2020 et 2030, toutes origines confondues (exploitation, démantèlement ou opérations particulières) ;
- estimation des déchets radioactifs au titre du démantèlement des installations, au-delà de 2030. Cette estimation concerne uniquement les installations pour lesquelles les exploitants ont fourni des données prévisionnelles. Il faut souligner la dimension prospective de ces évaluations et rappeler que le démantèlement de certaines installations se déroulera dans une, voire plusieurs décennies. De plus, la progression de la connaissance acquise au fil des opérations, l'amélioration continue des techniques de traitement et de conditionnement des déchets et les évolutions possibles de la réglementation, constituent les principaux facteurs susceptibles de modifier ces évaluations (voir paragraphe 3.1.2.5) ;
- matières radioactives éventuelles relatives à l'activité en question.

4.1 amont du cycle du combustible

Ce secteur d'activité comprend les établissements liés à la fabrication des combustibles nucléaires en vue d'une production d'électricité. L'usine de traitement de minerais d'uranium et de thorium du Bouchet anciennement exploitée par le CEA, relève de ce secteur d'activité ; les déchets produits par cette usine sont comptabilisés dans le secteur économique Recherche.

Carte des établissements de l'amont du cycle du combustible



La plupart des établissements de l'amont du cycle du combustible (carte ci-dessus) a utilisé ou utilise de l'uranium (naturel puis enrichi), dont une très faible fraction se retrouve dans les déchets liés à l'usage des installations.

Mine d'uranium de Bellezane

Broyage du minerai – France (AREVA)

Pastilles d'uranium (usine FBFC à Romans)

4.1.1 Description de l'activité

Extraction et traitement du minerai

L'extraction des minerais naturels contenant l'uranium (en mine à ciel ouvert ou en mine souterraine) ne se pratique plus en France.
Une fois le minerai extrait, des opérations physiques et chimiques permettaient d'extraire sélectivement l'uranium pour le concentrer ensuite en un produit stable (généralement un sel d'uranium couramment appelé *yellow cake*) qui contient environ 75 % d'uranium. Les usines dans lesquelles étaient effectuées ces opérations ont toutes cessé leurs activités.
Les résidus de traitement des minerais d'uranium sont stockés sur les anciens sites d'extraction et de traitement, ou à proximité. Les seize sites concernés sont Bauzot (71), Bellezane (87), Montmassacrot (87), Bessines-sur-Gartempe (87), Bertholène (12), Jouac (87), La Commanderie (85–79), La Ribière (23), Le Cellier (48), l'Ecarpière (44), Les Bois Noirs Limouzat (42), Lodève (34), Rophin (63), Saint-Pierre-du-Cantal (15), Teufelsloch (68), et Gueugnon (71).
Pour certains de ces sites, des déchets très faiblement actifs liés à l'usage d'installations de l'amont du cycle ont également été stockés sur place.
Par ailleurs, trois sites de la Division minière de la Crouzille (COGEMA, anciennement CEA), ont été utilisés dans les années 1970 et 1980 comme décharge pour des déchets très faiblement actifs issus de divers établissements de l'amont du cycle : Fanay (87), Margnac (87) et Peny (87).
Ainsi, dix neuf anciens sites miniers sont recensés dans l'Inventaire géographique. S'ajoute à ces sites celui des bassins de l'usine de COMURHEX de Malvési. Au total vingt sites sur lesquels sont stockés sur place et de façon définitive des résidus de traitement de minerais d'uranium ou de déchets très faiblement actifs issus des activités de l'amont du cycle, sont recensés dans l'Inventaire national.
Le site du Bouchet à Itteville (91) ayant accueilli une usine de traitement de minerais d'uranium et de thorium exploitée par le CEA de 1946 à 1970, a été assaini. Les déchets issus de cet assainissement sont comptabilisés dans les déchets relevant de ce secteur d'activité.

Concentré d'uranium « yellow cake » sur filtre à bande

Mine d'uranium de Bellezane en exploitation

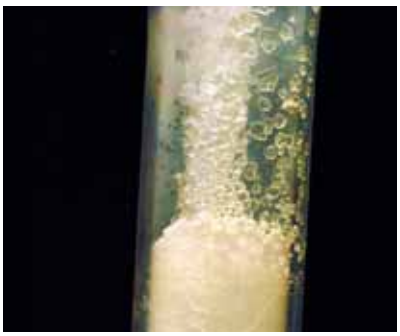
Site du Bouchet : assainissement (CEA)

Conversion

La conversion consiste à transformer l'uranium issu des mines pour qu'il puisse devenir gazeux à une température de 60°C. Cet état est indispensable à sa circulation dans les usines d'enrichissement. Cette transformation se fait en deux étapes :

- dans l'usine de COMURHEX à Narbonne (11) où le yellow cake devient tétrafluorure d'uranium
- puis dans l'usine de COMURHEX à Pierrelatte (26) où un procédé de fluoration permet de passer du tétrafluorure à l'hexafluorure d'uranium.

Cristaux d'UF_4 (tétrafluorure d'uranium)



Cristaux d'UF_6 (hexafluorure d'uranium)
Usine de conversion COMURHEX-Pierrelatte

Enrichissement

L'uranium naturel est principalement composé de deux isotopes : l'uranium 238 et l'uranium 235. L'uranium 235, fissile, est beaucoup moins abondant à l'état naturel que l'uranium 238 : il ne représente que 0,71 % de l'uranium naturel. Aujourd'hui, la plupart des réacteurs utilisent comme combustible de l'uranium enrichi entre 3 et 5% en uranium 235. L'enrichissement consiste donc à augmenter la proportion d'uranium 235.
Le procédé d'enrichissement mis en œuvre par l'usine Georges Besse I d'EURODIF est celui de la diffusion gazeuse. L'uranium, sous forme de gaz, circule dans des diffuseurs qui vont effectuer un tri entre uranium 235 et uranium 238 en tirant parti leur différence de masse.
Deux flux sont ainsi créés : l'un enrichi et l'autre appauvri en isotope 235.

Vue de l'usine d'enrichissement Georges Besse I d'EURODIF / Site du Tricastin

Fabrication du combustible

Les combustibles fabriqués pour la production d'électricité sont essentiellement de deux types : UOX (oxyde d'uranium) et MOX (oxyde mixte d'uranium et de plutonium).

Le combustible UOX (oxyde d'uranium)

L'hexafluorure d'uranium enrichi est transformé en poudre d'oxyde d'uranium puis compacté sous forme de pastilles pour permettre la fabrication des combustibles UOX. Les pastilles sont introduites dans les gaines métalliques, assurant leur maintien, pour constituer les « assemblages combustibles ». L'usine FBFC de Romans (26) réalise ces deux opérations.

Le combustible MOX (oxyde mixte d'uranium et de plutonium)

L'usine MELOX d'AREVA, implantée sur le site de Marcoule (30), fabrique depuis 1995 le combustible MOX selon un procédé similaire au procédé de fabrication d'UOX, mais qui utilise un mélange de poudre d'oxyde d'uranium et de poudre d'oxyde de plutonium. Le plutonium est séparé et conditionné par le procédé de traitement des combustibles usés mis en œuvre à La Hague. L'établissement d'AREVA Cadarache (13), appartenant auparavant au CEA, a également produit du combustible MOX jusqu'en juillet 2003.

L'uranium utilisé dans la fabrication du combustible MOX est de l'uranium appauvri.

Le plutonium est issu du traitement des combustibles usés (voir sous chapitre 4.3). Pour cette raison, la fabrication du MOX est considérée, conventionnellement, comme relevant de l'aval du cycle, et non de l'amont. Les deux sous-chapitres correspondants abordent cette activité, mais les déchets induits ne sont comptabilisés qu'une fois.

Contrôle d'aspect des assemblages combustibles (AREVA)

4.1.2 Déchets produits

Les activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium ont produit environ 50 millions de tonnes de résidus miniers très faiblement actifs, stockés sur place selon les réglementations en vigueur. Cette masse correspond à un volume de 33 millions de m^3 environ. Il faut lui ajouter quelques déchets de démantèlement provenant des anciennes installations de traitement des minerais, et un certain nombre de fûts très faiblement contaminés, soit quelques dizaines de milliers de m^3.

Le traitement chimique mis en œuvre dans l'usine COMURHEX induit des résidus solides et des effluents liquides. Ces derniers, chargés en matières solides uranifères de très faible activité, sont entreposés dans des bassins de décantation à l'air libre, couvrant 18 hectares. La description des bassins et des quantités d'uranium entreposées (à peu près une soixantaine de térabecquerels) se trouve dans l'Inventaire géographique.

Les établissements de conversion, d'enrichissement et de fabrication du combustible, produisent des déchets d'exploitation radioactifs faiblement ou très faiblement contaminés en uranium. Leur niveau de contamination est le plus souvent suffisamment faible pour être compatible avec le Centre de stockage FMA et le Centre TFA de l'Aube où ils sont agréés. Ils sont, pour cette raison, comptabilisés dans les filières de gestion FMA-VC et TFA. Ils sont généralement conditionnés sous forme de fûts ou de caissons.

L'usine du Bouchet est le seul site de ce secteur d'activité à avoir produit des déchets relevant de la catégorie FA-VL. Les déchets radifères issus de son assainissement avoisinent les 19 600 tonnes, soit environ 11 900 m^3. Ils se présentent sous forme de résidus de traitement et de boues, contaminés en uranium et en thorium. Il faut noter l'orientation vers la filière TFA de plus de 6 000 m^3 de gravats du site CEA du Bouchet comptabilisés en FA-VL dans l'Inventaire national 2006.

Déchets TFA en cours de stockage

Caissons métalliques de déchets solides (amont du cycle)

4.1.3 Scénario pour la période 2008-2030

Le scénario retenu prévoit globalement une continuité des pratiques industrielles actuelles.
Il intègre le remplacement progressif de l'usine Georges Besse I par une nouvelle usine, Georges Besse II (voir encadré 4.1).

Encadré 4.1

USINES GEORGES BESSE

L'usine Georges Besse I exploitée par EURODIF produit chaque année de l'uranium enrichi par diffusion gazeuse. Implantée sur le site du Tricastin, l'usine Georges Besse II prendra progressivement le relais de l'usine actuelle d'enrichissement à partir de 2009/2010. Cette nouvelle usine comprendra deux unités de production qui atteindront une capacité de l'ordre de 7,5 millions d'UTS* à l'horizon 2016/2018 et utilisera une nouvelle technologie : la centrifugation gazeuse.

L'usine actuelle continuera à produire en parallèle jusqu'à son arrêt programmé au début de la prochaine décennie. Il n'est pas attendu d'impact significatif en termes de flux de déchets courants d'exploitation, à la suite du remplacement de l'usine exploitée par EURODIF par l'usine Georges Besse II.

Les déchets de démantèlement de l'usine d'enrichissement actuelle sont intégrés dans les prévisions de production de déchets TFA aux horizons 2020 et 2030, dont ils constituent une part importante.

** Unité de travail de séparation (unité de compte pour l'activité d'enrichissement)*

4.1.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.1 présente les stocks de déchets du secteur amont du cycle pour chaque filière de gestion en 2007, 2020 et 2030.

Tableau 4.1 : stocks de déchets à fin 2007, à fin 2020 et à fin 2030 en m^3 équivalent conditionné

	2007	2020	2030
FA-VL	11 867	11 867	11 867
FMA-VC	52 274 dont 51 425 stockés	53 436	54 447
TFA	44 458 dont 15 821 stockés	170 078	266 067

4.1.5 Déchets au titre du démantèlement après 2030

Ces déchets, déclarés par AREVA, sont présentés dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : démantèlements après 2030 en m^3 équivalent conditionné

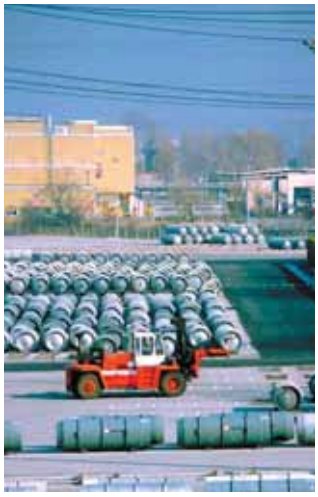
FMA-VC	5 000
TFA	4 000

4.1.6 Matières radioactives

Étaient entreposées au 31 décembre 2007 :

- environ 27 600 tonnes d'uranium naturel extrait de la mine, essentiellement sur les sites AREVA du Tricastin (26) et de Malvési (11) ;
- environ 2 950 tonnes d'uranium enrichi sur les sites AREVA du Tricastin (26), de La Hague (50) et de Romans (26) ;
- environ 149 100 tonnes d'uranium appauvri sur le site AREVA du Tricastin (26) et environ 104 600 tonnes sur le site AREVA de Bessines-sur-Gartempe (87).

L'uranium appauvri est issu des contrats d'enrichissement pour le compte d'EDF, ainsi que pour d'autres clients. Réutilisé actuellement dans les réacteurs REP comme support des combustibles MOX, l'uranium appauvri possède un potentiel énergétique, notamment dans le cadre de filières de réacteurs nucléaires spécifiques, telles que les surgénérateurs. Environ 700 tonnes d'uranium appauvri correspondant à des en-cours des usines de conversion et de fabrication de combustibles étaient également entreposées en France à fin 2007.



Entreposage de conteneurs d'UF_6 à l'usine d'enrichissement Georges Besse d'EURODIF / Site du Tricastin

Entreposage de conteneurs d'uranium appauvri (AREVA Pierrelatte / Site du Tricastin)

4.2 centres nucléaires de production d'électricité

Cette activité regroupe l'ensemble des centrales exploitées par EDF. Le parc électronucléaire français (voir carte ci-dessous) se compose actuellement de 58 réacteurs nucléaires en fonctionnement implantés sur 19 sites géographiques (voir tableau 4.3) et de 9 réacteurs définitivement arrêtés (voir tableau 4.4).

En France, la filière eau légère, avec 58 unités REP (Réacteur à eau pressurisée fonctionnant à l'uranium enrichi) mises en service de 1977 à 2000, constitue l'intégralité du parc en exploitation qui sera complété fin 2012 d'un réacteur également à eau pressurisée de type EPR (site de Flamanville).

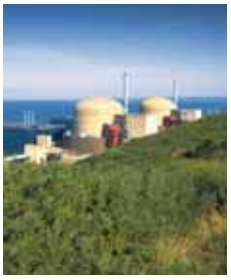
La filière REP a progressivement remplacé l'ancienne filière UNGG (Uranium naturel graphite gaz) développée par le CEA dans les années soixante et dont tous les réacteurs sont aujourd'hui à l'arrêt. EDF a exploité 6 de ces réacteurs (sites de Chinon, Saint-Laurent-des-Eaux et Bugey) dont le démantèlement est engagé et dont les déchets résultants sont comptabilisés dans la présente activité de production d'électricité.

En revanche, les 3 réacteurs UNGG du site de Marcoule sont répertoriés dans les activités de recherche du CEA civil pour la pile G1 (voir sous-chapitre 4.5) et dans celles liées à la force de dissuasion pour les piles G2 et G3 (voir sous-chapitre 4.10).

Centrale de Cruas

Centrale de Bugey

Centrale de Saint-Laurent-des-Eaux



Centrale de Flamanville

Centrale de Paluel

Carte des centres nucléaires de production d'électricité

Les premiers réacteurs de la filière neutrons rapides–sodium (Rapsodie, Phénix) ainsi que le prototype EL4 (unique réacteur électrogène de la filière eau lourde, arrêté en 1985) sont comptabilisés dans l'activité de recherche du CEA civil (voir sous-chapitre 4.5). La présente activité inclut, en revanche, les déchets de démantèlement et les combustibles du surgénérateur Superphénix, arrêté fin 1998, ainsi que ceux issus du réacteur prototype REP de 300 Mégawatts de Chooz A, arrêté en 1991.

Écorché d'un combustible UNGG

Tableau 4.3 : centrales en fonctionnement

Sites et dates de couplage au réseau (premier réacteur - dernier réacteur)	Nombre de réacteurs en exploitation - filière	Puissance nette par réacteur
Fessenheim (04/1977 – 10/1977)	2 - REP	880 MWe
Bugey (05/1978 – 07/1979)	4 - REP	910 / 880 MWe
Gravelines (03/1980 – 08/1985)	6 - REP	910 MWe
Dampierre (03/1980 – 08/1981)	4 - REP	890 MWe
Tricastin (05/1980 – 06/1981)	4 - REP	915 MWe
Saint-Laurent B (01/1981 – 06/1981)	2 - REP	915 MWe
Blayais (06/1981 – 05/1983)	4 - REP	910 MWe
Chinon B (11/1982 – 11/1987)	4 - REP	905 MWe
Cruas (04/1983 – 10/1984)	4 - REP	915 MWe
Paluel (06/1984 – 04/1986)	4 - REP	1 330 MWe
Saint-Alban (08/1985 – 07/1986)	2 - REP	1 335 MWe
Flamanville (12/1985 – 07/1986)	2 - REP	1 330 MWe
Cattenom (11/1986 – 05/1991)	4 - REP	1 300 MWe
Belleville (10/1987 – 07/1988)	2 - REP	1 310 MWe
Nogent-sur-Seine (10/1987 – 12/1988)	2 - REP	1 310 MWe
Penly (05/1990 – 02/1992)	2 - REP	1 330 MWe
Golfech (06/1990 – 06/1993)	2 - REP	1 310 MWe
Chooz B (08/1996 – 04/1997)	2 - REP	1 455 MWe
Civaux (12/1997 – 12/1999)	2 - REP	1 450 MWe
19 Sites	58 réacteurs	

Tableau 4.4 : centrales en cours de démantèlement

Sites	Type	Nombre de réacteurs
Chooz	REP	1 réacteur
Brennilis	EL	1 réacteur
Saint-Laurent-des-Eaux	UNGG	2 réacteurs
Chinon	UNGG	3 réacteurs
Bugey	UNGG	1 réacteur
Creys-Malville	RNR	1 réacteur/ surgénérateur

4.2.1 Description du secteur d'activité

Les assemblages combustibles REP séjournent quelques années dans les réacteurs de production d'électricité. En fonction de sa puissance, chaque réacteur utilise en permanence de 157 (réacteur de 900 Mégawatts) à 241 (réacteur EPR de 1 650 Mégawatts) assemblages combustibles, chacun d'entre eux contenant environ 500 kg d'uranium. Les combustibles sont majoritairement à l'oxyde d'uranium (UOX) élaboré à partir d'uranium naturel enrichi. Cependant, 22 réacteurs de 900 Mégawatts sont autorisés à charger des combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) et 2 réacteurs de 900 Mégawatts (bientôt 4) sont d'ores et déjà équipés pour utiliser du combustible de type URE fabriqué à partir d'uranium de traitement réenrichi (voir paragraphe 4.2.6).

En sortie de réacteur, les combustibles usés de type UOX et URE contiennent 95 % d'uranium et environ 1 % de plutonium (5 % pour les combustibles usés de type MOX). Ils ne sont pas considérés comme des déchets mais comme des matières radioactives, en raison de leur potentiel énergétique résiduel. En revanche, les 4 % d'éléments radioactifs restants, isolés lors des opérations de traitement, constituent les déchets HA qui sont décrits au sous-chapitre 4.3.

Hormis les déchets issus directement ou induits par le traitement des combustibles usés, le fonctionnement des centrales et leur maintenance régulière impliquent la production de déchets variés (filtres, résines, déchets métalliques, cellulosiques...), généralement contaminés par les produits de corrosion activés qui s'y sont déposés.

Enfin, 9 réacteurs arrêtés (tableau 4.4) produisent des déchets d'assainissement et/ou de démantèlement selon la programmation des phases de leur démantèlement.

Ce secteur d'activité inclut aussi l'Atelier des matériaux irradiés (AMI) de la centrale de Chinon, qui procède à des expertises des structures irradiées.

Chemise graphite et combustible UNGG

Chemise graphite et combustible UNGG

Démantèlement de la centrale de Brennilis

4.2.2 Déchets produits par le secteur d'activité

La France ayant choisi de les traiter, les combustibles usés de la filière REP ne sont pas considérés comme des déchets. Les déchets issus des opérations de traitement des combustibles étant comptabilisés dans l'activité « Aval du cycle » (voir sous-chapitre 4.3), les seuls déchets induits par la production électronucléaire sont ceux résultant de l'exploitation, de la maintenance et du démantèlement des équipements actuels.

Déchets MA-VL

Les déchets de ce type sont des pièces métalliques rebutées qui ont été soumises directement aux rayonnements (déchets « activés »). Pour les déchets produits en phase d'exploitation, il s'agit principalement des grappes poisons (grappes fixes dont le rôle est de réduire la réactivité du cœur pendant le premier cycle d'exploitation) et des grappes de commande (grappes mobiles dont les 24 crayons absorbants coulissent dans l'assemblage combustible en vue de réguler la puissance du réacteur). Pour ces dernières, des critères stricts vis-à-vis de l'usure conduisent à leur remplacement plusieurs fois au cours de la vie de la tranche. Les déchets produits en phase de démantèlement sont, pour l'essentiel, des structures métalliques qui présentent, comme les grappes, une contamination surfacique associée à une activité importante localisée dans la masse. L'hypothèse de conditionnement retenue par EDF dans le cadre de cet Inventaire national est une cimentation de ces déchets métalliques après découpe sur site ou cisaillage dans une installation centralisée (ICEDA) assurant le conditionnement en conteneur béton et l'entreposage intérimaire des colis (voir paragraphe 4.2.3). Cette nouvelle installation devrait être mise en exploitation à l'horizon 2013 sur le site du Bugey (01).

Déchets FA-VL

L'ancienne filière UNGG a généré des déchets FA-VL dits « de graphite ». On distingue les éléments qui entouraient le combustible (les chemises) de ceux qui constituaient les cœurs de réacteurs (les empilements). Le programme de démantèlement engagé par EDF n'a pas encore atteint la phase de dépose des empilements qui sont toujours en place, et ne seront comptabilisés comme des déchets qu'au moment de leur démantèlement. En revanche, sont déjà comptabilisées comme déchets les chemises qui ont été retirées et sont entreposées dans des silos sur le site de Saint-Laurent et sur les sites de Marcoule et de La Hague (voir pour ces deux derniers sites sous-chapitre 4.3). L'hypothèse de conditionnement retenue pour ces déchets existants et futurs est une cimentation dans un caisson en béton.

Déchets FMA-VC et TFA

Le fonctionnement des centrales EDF et les activités de maintenance associées engendrent des déchets - essentiellement TFA et FMA-VC. Il peut s'agir d'équipements, de résidus de filtration/épuration (résines, filtres, boues...), de consommables (tenues vinyle, coton...), ou encore de pièces rebutées (robinets, tubes...). Ces déchets ont été contaminés par contact avec les fluides - eau primaire, air de ventilation... - qui véhiculent les produits de fission et/ou les produits de corrosion activés lors de leur passage en cœur.

À l'exception des déchets incinérables et des ferrailles destinées à la fusion, qui sont dirigés vers les unités de CENTRACO (voir sous-chapitre 4.4), les déchets FMA-VC d'EDF sont conditionnés sur les sites des centrales dans des colis de béton, ou dans des fûts ou caissons métalliques respectivement compactés et injectés au Centre de stockage FMA de l'Aube.

Les déchets TFA d'EDF sont de nature variée. Il s'agit de déchets issus des « zones nucléaires » des centrales présentant un niveau de radioactivité très bas, voire, dans certains cas, non mesurable. Une grande partie est générée par le démantèlement des centrales les plus anciennes.

Certains déchets prévus à court et moyen terme seront plus volumineux, du fait d'importantes opérations de maintenance programmées dans les centrales du parc électronucléaire, notamment le remplacement des couvercles de cuves sur 54 réacteurs (opération en cours depuis fin 1994, premier couvercle stocké au Centre de stockage FMA de l'Aube en 2004) et celui des générateurs de vapeur sur 26 réacteurs. Pour ces générateurs de vapeur, le stockage au Centre FMA de l'Aube retenu dans le cadre de cet Inventaire national est une option parmi d'autres.

Coques bétons de déchets cimentés

Fût de déchets cimentés et coques bétons de déchets cimentés

4.2.3 Scénario pour la période 2008-2030

Le scénario retenu tient compte des choix industriels effectués par EDF et présentés à l'Autorité de sûreté nucléaire fin 2007, pour la décennie 2007-2017. Jusqu'en 2017, les pratiques actuelles peuvent être considérées comme pérennisées. Au-delà, des hypothèses complémentaires doivent être faites, qu'il s'agisse de la durée de vie des réacteurs (le premier réacteur REP 900 Mégawatts mis en service aura 40 ans en 2017) ou du devenir de l'énergie nucléaire à plus long terme.

À titre d'illustration, sont présentés au chapitre 3 les deux scénarios suivants.

- Scénario 1 :
  le parc actuel est renouvelé progressivement et de nouveaux réacteurs sont déployés ; à terme, des réacteurs dits de « génération IV » sont mis en œuvre, ce qui permet dans cette hypothèse de valoriser complètement le plutonium produit par le parc existant.
- Scénario 2 :
  la production d'électricité d'origine nucléaire se limite au parc actuel de centrales, ce qui conduit à arrêter le traitement des combustibles en 2019, dans l'objectif d'aboutir à un stock de plutonium séparé nul (c'est-à-dire hors plutonium contenu dans les combustibles usés) lorsque le dernier réacteur moxé s'arrêtera en 2030.
  Des scénarios intermédiaires où la production électronucléaire se poursuivrait, mais avec des réacteurs offrant des possibilités plus limitées de recyclage du plutonium que celles qui sont envisagées par les industriels dans le cadre de la technologie dite « de génération IV » sont également envisageables. Cela pourrait conduire à ne valoriser que le plutonium contenu dans les combustibles UOX, mais pas celui des MOX.
  Les deux scénarios rappelés ci-dessus traduisent deux situations contrastées n'ayant qu'un caractère illustratif. Ils seront exploités dans le cadre de l'estimation des « déchets engagés » (voir annexe 2). En revanche pour les prévisions à fin 2020 et fin 2030, seul le scénario 1 est retenu.
- Le recyclage de l'uranium et du plutonium devrait s'amplifier. Ainsi, les réacteurs pouvant fonctionner avec des combustibles (URE) élaborés à partir d'uranium de traitement (URT) réenrichi passeront de 2 à 4 à l'horizon 2009/2010. Une fois à l'équilibre, ces 4 réacteurs chargés à 100 % avec des assemblages URE recycleront annuellement près de 600 tonnes d'uranium sur les 800 tonnes récupérées lors du traitement. Pour le présent Inventaire national, la quantité de combustible MOX utilisée durant la période 2008-2020 est supposée constante et égale à 100 tML/an : elle correspond au flux de recyclage actuel qui permettra, eu égard au flux de traitement supposé lui aussi inchangé (850 tML par an) et compte tenu de la nouvelle gestion mise en œuvre pour le combustible MOX, de stabiliser le stock de plutonium. Toutefois sur le moyen terme, EDF envisage d'augmenter le flux de recyclage et de porter de 22 à 24 le nombre de réacteurs habilités à utiliser les combustibles MOX, sous réserve de l'obtention des autorisations administratives correspondantes. Cet accroissement du recyclage de plutonium s'accompagnera d'une augmentation du flux de traitement, sans impact sur les quantités de déchets totales (qui sont liées à l'exploitation des centrales et au niveau de production d'électricité).

Caisson métallique de déchets cimentés

Cet accroissement du flux de traitement conduira toutefois à remplacer plus rapidement les combustibles usés par des déchets HA et MA-VL conditionnés. Ainsi, en 2020, le tonnage de combustibles usés pourrait être légèrement inférieur à celui estimé dans le présent Inventaire national (et inversement pour les déchets qui en seront issus).

- Le traitement des combustibles concerne les combustibles à l'uranium enrichi (UOX) dont le recyclage est industriellement possible dans les réacteurs REP du parc actuel. L'amélioration continue de la performance de ces combustibles se traduit, notamment, par une augmentation de leur enrichissement et de leur taux de combustion avec, en contrepartie, une baisse du potentiel énergétique des matières (uranium et plutonium) qui en sont extraites après traitement. Par conséquent, les produits MOX et URE vont voir leur teneur respectivement en plutonium et uranium enrichi, augmenter pour maintenir leurs caractéristiques énergétiques. La faisabilité du traitement, dans les installations AREVA, des combustibles MOX et URE est aujourd'hui établie. Toutefois, la gestion industrielle de référence de ces combustibles consiste à les recycler dans les réacteurs de « génération IV » et dans cette logique, leur entreposage constitue une réserve stratégique pour alimenter en temps opportun la future génération de réacteurs.
- Les démantèlements, pour certains déjà entrepris par EDF, se poursuivront pendant la période 2008-2030. Sont concernées les centrales de Brennilis, Chooz A, Creys-Malville (Superphénix), ainsi que les anciennes centrales de la filière uranium naturel graphite gaz, à savoir Chinon A, Bugey 1 et Saint-Laurent A. EDF s'est engagée dans un programme de démantèlement complet de toutes ces centrales dites « de première génération », qui devrait être - pour la totalité d'entre elles à l'exception de Saint-Laurent A, quasiment achevé en 2030.
- Parmi les installations nouvelles qui devraient voir le jour d'ici 2020, on note ICEDA (Installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés), qui a fait l'objet d'une enquête publique en 2006 et dont la demande d'autorisation de création déposée par EDF, est en cours d'instruction. L'exploitation de cette installation ne devrait engendrer que des quantités très faibles de déchets ; ces déchets induits ne sont pas comptabilisés dans le présent Inventaire national puisque « non engagés ». En revanche, la totalité des déchets issus des centrales EDF qui sont destinés à un conditionnement dans ICEDA est bien répertoriée dans le présent secteur d'activité.

4.2.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.5 présente les stocks de déchets du secteur d'activité « Centres nucléaires de production d'électricité » pour chaque filière de gestion, en 2007, 2020 et 2030.

Tableau 4.5 : stocks de déchets à fin 2007, à fin 2020 et à fin 2030 en m³ équivalent conditionné

	2007	2020	2030
MA-VL	966	1 712	2 552
FA-VL	9 061	35 061	52 061
FMA-VC	286 590 dont 272 894 stockés	375 735	448 595
TFA	42 197 dont 25 445 stockés	159 597	207 297

4.2.5 Démantèlements après 2030

Les volumes liés aux démantèlements postérieurs à 2030 correspondent en premier lieu à un très faible reliquat concernant le démantèlement des centrales aujourd'hui arrêtées, mais principalement au démantèlement des 58 réacteurs du parc électronucléaire actuel. Les volumes estimés par EDF sont les suivants (tableau 4.6) :

Tableau 4.6 : démantèlements après 2030 en m³ équivalent conditionné

MA-VL	6 000
FA-VL	0
FMA-VC	249 000
TFA	468 000

4.2.6 Matières radioactives

Stocks à fin 2007

Au 31 décembre 2007, étaient entreposés sur les sites EDF sous forme d'assemblages neufs :

- 342 tML d'uranium enrichi, sous forme de 667 assemblages UOX ;
- 96 tonnes d'uranium appauvri et 9 tonnes de plutonium sous forme respectivement de 72 assemblages MOX et 455 assemblages RNR de Superphénix qui n'ont pu être chargés du fait de l'arrêt définitif du réacteur en 1998.

Nota : début 2008, les partenaires italiens ont définitivement opté pour une reprise sous forme séparée de la part de plutonium qu'ils avaient fournie : en conséquence, la totalité du plutonium contenue dans les assemblages Superphénix est de propriété française.

Depuis la mise en service des premières centrales dans les années 60, EDF a déchargé 6 855 tonnes de combustibles usés de la filière UNGG, et un peu plus de 26 000 tonnes issues de la filière REP. Les combustibles usés sont traités, hors cas particuliers, au fur et à mesure de leur sortie de réacteur, après un délai moyen de refroidissement en piscine voisin de dix années.
Les stocks de combustibles en cours d'utilisation ou usés au 31 décembre 2007 se ventilent ainsi :

- 4 870 tML[1] de combustibles REP présents dans les réacteurs, (tableau 4.7)

Tableau 4.7 : combustibles en utilisation dans les centrales EDF, en tML à fin 2007

Oxyde d'uranium naturel enrichi (UOX)	4 500
Oxyde d'uranium de traitement enrichi (URE)	80
Oxyde mixte uranium-plutonium (MOX)	290

- 12 783 tML de combustibles usés REP entreposés sous eau pour décroissance dans les piscines des centrales ou de l'usine de La Hague (tableau 4.8). Au 31 décembre 2007, tous les combustibles UNGG d'EDF ont été traités, ainsi que 13 300 tonnes de combustibles REP UOX. Conformément à la stratégie industrielle d'EDF, le traitement des combustibles de type URE et MOX n'est pas encore engagé.

Tableau 4.8 : combustible usés d'EDF en tML, en attente de traitement à fin 2007

Oxyde d'uranium naturel enrichi (UOX)	11 504
Oxyde d'uranium de traitement enrichi (URE)	251
Oxyde mixte uranium-plutonium (MOX)	1 028

- Combustibles usés RNR du surgénérateur Superphénix (voir *nota* ci-dessus) : 104 tML sous forme de 588 assemblages sont actuellement entreposées sur le site de Creys-Malville (38).

1 Tonnes de métal lourd.

- Combustibles de l'ancien réacteur EL4 de Brennilis : 5 400 assemblages (49 tonnes) sont actuellement entreposés dans l'installation CASCAD de Cadarache (13). Depuis décembre 2008, EDF assume les charges liées aux opérations de reprise et de gestion à long terme y afférent.

Projections en 2020 et en 2030

Le stock de combustibles usés en attente de traitement (tableau 4.9) évolue en fonction des quantités déchargées chaque année des réacteurs (lesquelles dépendent de la production électrique fournie au réseau et des performances du combustible) et des quantités traitées dans l'usine de La Hague (paragraphe 4.3.3). À cet égard, la politique actuelle consiste à ne traiter que les combustibles industriellement recyclables dans les réacteurs existants. Compte tenu des éléments exposés en 4.2.3, les quantités de combustibles URE et MOX déchargées des réacteurs vont donc se cumuler en entreposage dans les piscines des centrales et de La Hague (voir paragraphe 4.3). Le devenir des combustibles RNR, entreposés à Creys-Malville, sera examiné en cohérence avec celui des MOX.

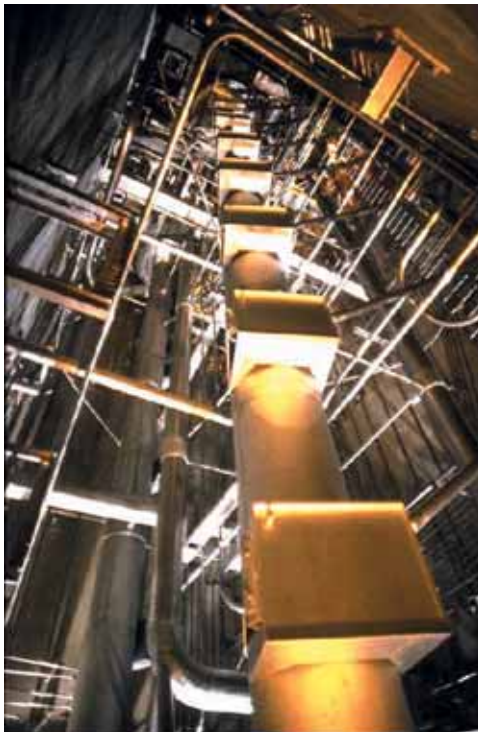
Tableau 4.9 : combustibles usés en attente de traitement (en tonnes de métal lourd) à fin 2020 et à fin 2030

	2020	2030
UOX	13 450	11 000
URE	1 020	1 320
MOX	2 320	2 550
RNR	104	104

Piscine E, entreposage des combustibles usés à l'usine de traitement des combustibles usés AREVA La Hague

4.3 aval du cycle du combustible

L'aval du cycle du combustible regroupe les activités de traitement des combustibles usés et de fabrication de combustibles utilisant les matières issues du combustible usé (uranium et plutonium), et concerne trois secteurs économiques : la production électronucléaire, la Défense et la Recherche.



Colonnes pulsées d'AREVA à La Hague

Carte des établissements de l'aval du cycle combustible

4.3.1 Description de l'activité

Après son irradiation en réacteur nucléaire, le combustible usé contient 96% de matières énergétiques valorisables, l'uranium et le plutonium, et 4% de produits de fission et d'actinides mineurs qui sont des déchets. Le procédé de traitement des combustibles usés consiste à récupérer ces matières d'une part, et à conditionner les déchets ultimes d'autre part. Les opérations menées dans les usines de traitement peuvent se décomposer sommairement en trois étapes :

- réception et entreposage en piscines des assemblages combustibles usés pour refroidissement avant traitement (pendant quelques années) ;
- traitement des assemblages combustibles usés par :

- cisaillage mécanique des assemblages combustibles usés de la filière REP en tronçons de 35 mm environ (appelés « coques »)[2];
- dissolution chimique du combustible usé contenu dans les coques par de l'acide nitrique ;
- séparation par extraction chimique et purification de l'uranium et du plutonium dissous, puis conditionnement ;

• traitement et conditionnement des déchets sous des formes stables, adaptées à leur activité et aux périodes radioactives des éléments qu'ils contiennent.

Dans l'Inventaire national, les activités de l'aval du cycle incluent également la fabrication de combustible MOX (voir sous-chapitre 4.1), qui utilise le plutonium séparé par le procédé de traitement des combustibles usés.

Vue aérienne de l'usine de Marcoule

Sites concernés par l'activité

L'usine UP1 de Marcoule

La première usine française de traitement des assemblages combustibles usés, **UP1,** a été mise en service sur le site de Marcoule en 1958 et définitivement arrêtée à la fin de 1997. Elle a été exploitée par le CEA puis par COGEMA (à partir de 1976, date de sa création ; aujourd'hui AREVA) pour la Défense nationale (extraction du plutonium pour les armes) puis à des fins civiles (traitement des assemblages combustibles de la filière UNGG et de PHENIX, activités expérimentales sur le traitement).

Aujourd'hui, les opérations d'assainissement ont été engagées. Elles comportent trois programmes :

• la mise à l'arrêt définitif des installations (MAD) ;
• le démantèlement (ou déconstruction) des installations (DEM) ;
• la reprise et le conditionnement de déchets anciens liés à l'activité d'UP1 et entreposés dans des installations dédiées (RCD). Depuis la fin 2004, la maîtrise d'ouvrage de ces programmes a été confiée au CEA. Ceux-ci devraient s'achever à l'horizon 2035.

Vue aérienne de l'usine de traitement des combustibles usés d'AREVA à La Hague

Les usines de La Hague

En 1966, une deuxième usine de traitement d'assemblages de combustibles usés a été mise en service, sur le site de La Hague : **UP2-400**. Tout comme UP1, elle a été exploitée par le CEA jusqu'en 1976, puis par COGEMA (aujourd'hui AREVA) dès sa création. D'une capacité initiale de 400 tonnes de combustible par an, l'usine UP2-400 a d'abord traité des assemblages combustibles usés de la filière UNGG. Elle s'est ensuite adaptée au traitement d'assemblages combustibles de la filière REP, adoptée en France en 1969 (atelier Haute activité oxyde, **HAO**, mis en service en 1976).

De 1976 à 1987, l'usine UP2-400 a ainsi traité en alternance des assemblages combustibles usés, provenant aussi bien de la filière UNGG que de la filière REP.

Depuis, UP2-400 a été uniquement affectée à la filière REP, tandis que l'usine UP1 de Marcoule assurait le traitement des autres assemblages combustibles.

Pour faire face aux besoins français et étrangers, AREVA a entrepris au début des années 1980 la construction de deux nouvelles usines similaires, de capacités équivalentes (800 tonnes/an) :

- **UP3**, initialement dédiée exclusivement aux combustibles usés fournis par les clients étrangers (démarrée en novembre 1989) ;
- **UP2-800**, mise en service en août 1994, qui a pris le relais sans rupture de l'usine UP2-400, aujourd'hui arrêtée.

Piscine UP2 400 (entreposage des embouts et coques) d'AREVA à La Hague

Hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7 UP2 800 d'AREVA à La Hague

2 Pour les combustibles de l'ancienne filière UNGG, l'opération initiale consistait en un « dégainage », c'est-à-dire à l'enlèvement de la gaine magnésium, par voie chimique (dissolution) ou mécanique (pelage) selon les procédés.

Entreposage des colis de déchets solides sur l'aire de compactage de Marcoule

Contrôle des conteneurs de déchets vitrifiés dans l'atelier de vitrification R7. Usine de traitement des combustibles usés UP2 800 d'AREVA à La Hague

Actuellement, le traitement des combustibles usés se fait à La Hague en alternance dans les ateliers des usines UP2-800 et UP3.

Les usines de fabrication de combustible MOX

La production de combustible MOX à Cadarache est aujourd'hui arrêtée. Cette production (40 tonnes/an) est reportée à l'usine MELOX implantée sur le site de Marcoule. Les premières opérations pilote de démantèlement de l'usine de Cadarache ont débuté en 2007. L'usine MELOX a démarré en 1994. Sa capacité actuelle est de 190 tML de combustible MOX par an (masse de métal lourd), destinées aux réacteurs français et étrangers de la filière « eau légère ».

4.3.2 Déchets produits

Ce sont :

- les déchets directement issus des combustibles usés ;
- les déchets liés à l'exploitation et à la maintenance des installations de traitement ou à la fabrication de combustible MOX.

Coques et embouts à l'atelier de compactage d'AREVA à La Hague

Colis compactés MA-VL (CSD-C)

Colis vitrifiés HA (CSD-V)

Déchets directement issus des combustibles usés

Les déchets ultimes contenus dans les combustibles usés appartiennent à deux catégories :

Les produits de fission et actinides mineurs

Dans l'usine de La Hague et dans l'atelier de vitrification de Marcoule, ceux-ci sont séparés de l'uranium et du plutonium, puis calcinés et incorporés dans une matrice de verre.

Dans les ateliers R7 et T7 de La Hague, le verre est alors coulé dans un conteneur standard de déchets vitrifiés (CSD-V) ; à Marcoule le procédé est analogue à celui mis en œuvre à La Hague.

Ce procédé permet ainsi de conditionner la radioactivité sous forme compacte, durable et confinante. Ces colis de déchets sont de type HA.

Les déchets de structures

Ce sont pour la filière eau légère, les composants métalliques (tubes de gainage, grilles, embouts) assurant le confinement et l'assemblage des pastilles de combustible. Dans l'usine de La Hague, ils sont aujourd'hui décontaminés, compactés et conditionnés en conteneurs standards de déchets compactés (CSD-C), géométriquement similaires aux CSD-V. On les qualifie de « coques et embouts ». Ils sont de type MA-VL.

Durant une courte période, 1990-1995, les déchets de structure des assemblages combustibles de la filière eau légère traités à La Hague ont été conditionnés par cimentation en fûts métalliques de 1,5 m^3.
En ce qui concerne la filière UNGG, dont les combustibles usés ont été traités à La Hague et Marcoule, les déchets de structure principaux sont les chemises graphite (FA-VL) et les gaines magnésium (principalement MA-VL).

Déchets liés à l'usage et au démantèlement des installations

Ils comprennent :

Des déchets de maintenance (outillages, gants de travail, filtres, outils, matériels usagés, films, vinyles...) ou de traitement des eaux de piscines (résines, filtres, boues...), qui sont conditionnés dans différents types de conteneurs en fonction de leur nature, de leur niveau d'activité et de leur filière de gestion.

Ce sont notamment :

- des déchets MA-VL, compactés à La Hague en colis CSD-C pour les coques et embouts ou en colis S5 pour les déchets à dominante alpha, ou cimentés (mode de conditionnement courant avant le démarrage de l'Atelier de compactage des coques ACC) ou encore bitumés (boues conditionnées à Marcoule ou La Hague dans du bitume). Il faut noter que depuis 1995, AREVA met en œuvre une gestion des effluents limitant très fortement la production de boues à conditionner par bitumage. Pour les boues dites « STE2 » issues du fonctionnement de l'usine UP2-400 avant 1991, AREVA étudie un procédé de séchage et compactage des boues avec une mise en fût inox ;
- des déchets FMA-VC, généralement compactés et cimentés, parfois incinérés ou fondus dans l'usine CENTRACO ;
- des déchets TFA, conditionnés dans des big-bags (terres et gravats), des fûts ou des caissons métalliques.

Des déchets de démantèlement

Sont actuellement concernées l'usine de Marcoule (UP1) et, à court terme, une partie de l'usine UP2-400 de La Hague. Outre ces deux usines de traitement-recyclage des combustibles usés, il faut noter le démantèlement en cours de l'usine de combustible MOX de Cadarache. Les déchets concernés sont essentiellement de catégories FMA-VC et TFA.

ADT, entreposage de fûts CO et C1 en provenance de l'atelier AD2 d'AREVA à La Hague

Station de traitement des effluents STE3. Carrousel d'enfûtage d'AREVA à La Hague

4.3.3 Scénario pour la période 2008-2030

Le scénario retenu pour la période 2008-2030 repose notamment sur les hypothèses suivantes.

La quantité de combustibles usés EDF traitée dans l'usine de La Hague est supposée constante durant la période, à hauteur de 850 tonnes/an. Le flux de plutonium séparé dans l'usine de traitement restera ainsi égal à celui qu'il est prévu de recycler par fabrication des combustibles mixtes oxyde (MOX). On notera qu'une augmentation de ces flux est actuellement envisagée. Les quantités de combustibles traités annuellement seront ainsi portées à environ 1 000 tonnes/an. Étant donné le décalage temporel entre l'acquisition des données de l'Inventaire national et sa publication cette évolution n'a pas pu être prise en compte pour la présente édition. Elle sera prise en compte dans les prochaines mises à jour.

Le traitement des combustibles MOX en mélange dans les UOX et les URE est, par hypothèse, considéré à partir de 2031. Le programme industriel actuel d'EDF prévoit en priorité le traitement des combustibles UOX.

Les usines de traitement de combustibles arrêtées UP1 à Marcoule et UP2-400 à La Hague sont assainies et démantelées à fin 2030. Le démantèlement de l'usine de fabrication de combustible MOX à Cadarache s'achève en 2013.

Il est rappelé que les déchets reconditionnés dans le cadre d'opérations de reprise et conditionnement futures, telles que celles décrites ci-dessous, sont comptabilisés par convention dans les volumes existants au 31 décembre 2007, avec le volume de leur colis définitif.

Scénario pour la période 2008-2030 sur le site de La Hague

En premier lieu, on mentionnera la vitrification prévue des solutions de produits de fission dites UMo (uranium molybdène, issus du combustible UNGG) qui sont aujourd'hui entreposées. Du fait de leur teneur élevée en molybdène, elles ne peuvent être vitrifiées dans les équipements actuels des ateliers de La Hague. Des études de recherche et développement permettront de mettre en œuvre un procédé de vitrification adapté, consistant à élaborer le verre en creuset froid. Le nombre de conteneurs produits sera de 900 environ, pour un volume de 158 m^3. La vitrification des solutions UMo devrait débuter après 2010.
Des opérations de reprise et conditionnement des déchets anciens, majoritairement produits dans les années 1970-1980 et actuellement entreposés, sont prévues sur la période. Pour les déchets MA-VL, la loi du 28 juin 2006 impose à leurs propriétaires de les conditionner avant 2030.
Les opérations principales concernent les boues issues du traitement d'effluents, entreposées dans l'atelier STE2 et les déchets entreposés dans les silos HAO, dans le SOC (Stockage organisé des coques) ainsi que dans les silos 115 et 130.
Les boues STE2 proviennent du fonctionnement de l'usine UP2-400 jusqu'à la fin des années 1980 ; elles sont actuellement entreposées dans 7 silos semi-enterrés de l'ancienne Station de traitement des effluents (STE2), à l'exception d'une partie des boues d'un des silos (silo 14) qui a été bitu-

mée fin 2007, conduisant à la production de 340 fûts (81 m^3). L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a interdit en 2008 le bitumage des boues sur l'installation STE3. Pour la part restante des boues du silo 14 et pour les boues entreposées dans les autres silos, AREVA envisage en conséquence un conditionnement alternatif au bitumage. Le conditionnement actuellement à l'étude comprend des opérations préalables de séchage, puis de compactage des boues, et l'introduction des pastilles compactées dans un conteneur en acier inoxydable.

Le silo HAO est un bassin enterré qui contient des déchets de structure (coques et embouts) directement issus des combustibles usés de la filière eau légère traités sur l'atelier HAO de l'usine UP2-400 entre 1976 et 1990, et des déchets d'exploitation de cet atelier (couvercles, résines de traitement des eaux de piscines du HAO, fines, déchets technologiques divers). La stratégie de reprise et de conditionnement des déchets entreposés dans le silo HAO est fondée sur une séparation des déchets par taille et par nature et devrait conduire à la production de colis CSD-C (coques et embouts, déchets technologiques métalliques), de colis cimentés pour les déchets de type MA-VL de petites tailles (résines et fines).

Le SOC (Stockage organisé des coques) est constitué de trois piscines (S1, S2, S3) dans lesquelles, depuis 1988, sont entreposés en curseurs sous eau des déchets de structure des combustibles usés traités sur UP2-400. Les coques et embouts du SOC ainsi que les parties des curseurs et de leurs couvercles non susceptibles d'être stockées en surface, seront conditionnés en colis CSD-C. Les parties susceptibles d'être stockées en surface seront conditionnées en coques béton fibre.

Le silo 115 contient trois cuves cylindriques de 400 m^3. Ces cuves contiennent des déchets de structure directement issus des combustibles UNGG traités dans l'usine UP2-400 entre 1966 et 1974 (gaines en magnésium, chemises en graphite). Le silo 130 est une casemate enterrée, composée de deux fosses de 3 000 m^3 dont une seule contient des déchets. Ces déchets sont, d'une part des déchets directement issus des structures des combustibles UNGG traités dans l'usine UP2-400 de 1973 à 1990, d'autre part des déchets technologiques divers, de l'eau, des terres et des gravats.

Les déchets UNGG de ces silos, de type FA-VL, devraient être conditionnés dans un colis en béton. Il existe aussi un certain nombre de déchets d'exploitation, *a priori* destinés au stockage en surface.

Les opérations de reprise sont prévues à partir de 2012 pour les déchets entreposés dans le silo HAO et dans le silo 130, à compter de 2016 pour ceux qui sont entreposés dans le SOC et après 2026 pour ceux qui sont entreposés dans le silo 115.

La Fosse Attila à La Hague représente environ 130 fûts de 200 litres, relevant pour moitié de la catégorie MA-VL, pour moitié de la catégorie FMA-VC. Ces déchets seront également repris et reconditionnés.

On peut enfin noter la reprise de divers déchets (résines, graphites pulvérulents, etc.) entreposés dans les cuves de décantation de l'usine UP2-400, ainsi que le traitement par minéralisation des solvants usés de cette même usine. Les déchets seront conditionnés en colis béton graphite de type FA-VL, en coques béton fibre FMA-VC, et en colis cimentés MA-VL.

À fin 2030, ces déchets seront tous conditionnés. Certaines opérations de conditionnement devront au préalable faire l'objet d'un accord de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

Scénario pour la période 2008-2030 sur le site de Marcoule

L'assainissement du site de Marcoule se poursuivra sur la période 2008-2035.
Une part des déchets pourrait être destinée au stockage en surface, sous réserve de l'obtention d'agréments par l'Andra.
Pour les autres déchets (déchets HA et MA-VL), l'objectif est de les regrouper dans des installations spécifiques.
L'Atelier de vitrification de Marcoule (AVM) devrait regrouper les colis de déchets vitrifiés HA (entreposages en puits).
L'entrepôt modulaire EIP (Entreposage intermédiaire polyvalent), mis en service en 2000 pour les déchets MA-VL, accueille essentiellement les bitumes. À fin 2007, la totalité des fûts d'enrobés bitumineux initialement entreposés dans les fosses enterrées de la zone Nord de Marcoule a été extraite, reconditionnée et entreposée dans l'EIP. Les fûts bitume entreposés dans les casemates de la STEL doivent être progressivement repris.
Les déchets de structure en magnésium (gaines de combustibles usés de type UNGG) sont entreposés dans 17 fosses. À partir de 2021, ils devraient être repris et conditionnés en fûts de 223 litres selon l'hypothèse actuellement retenue par le CEA, puis entreposés dans l'Installation d'attente d'expédition (IAE), installation dont la mise en exploitation est prévue en 2016.
À l'horizon 2020, près de la moitié des opérations de reprise et conditionnement des déchets anciens entreposés sur le site aura été réalisée, ainsi que la plupart des opérations de mise à l'arrêt et de démantèlement des installations.

Vue de l'entreposage intermédiaire polyvalent (EIP) à Marcoule

Usine d'AREVA Cadarache

Les opérations pilote de démantèlement ont débuté en 2007. Le décret d'autorisation attendu pour la mi-2009 marquera le début des opérations de démantèlement qui devraient s'achever en 2013.

4.3.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Stocks de déchets au 31 décembre 2007

Produits sur le site de La Hague

Dans le tableau 4.10 figurent les différents types de colis de déchets issus des combustibles usés à l'usine de La Hague dont une partie sera retournée aux clients étrangers d'AREVA. Sont ainsi présentés pour chaque type de colis :

- le nombre de conteneurs présents au 31 décembre 2007 ;
- le nombre de conteneurs que représentent les déchets en attente de conditionnement ;
- la part française de l'ensemble de ces déchets, le reste devant être expédié, en conformité avec la loi et les contrats, aux clients étrangers d'AREVA (voir annexe 1).

Tableau 4.10 : colis de déchets issus des combustibles usés, dont une partie sera retournée aux clients étrangers d'AREVA

	Nombre total de colis entreposés au 31 décembre 2007	Estimation du nombre total de colis à produire au titre des déchets non conditionnés entreposés au 31 décembre 2007	Volume total de colis produits ou à produire au titre des déchets entreposés au 31 décembre 2007 (m^3)	Estimation de la part revenant aux propriétaires français au titre des combustibles usés traités avant le 31 décembre 2007 (%)
CSD-V (HA)	9 088	603	1 696	87,7
CSD-C (MA-VL)	6 089	8 186*	2 612	50,9
CSD-B	0	381	7 942	93,2
Fûts de bitume	10 912	0		
Colis « C5 »	0	20 300		

* Les colis CSD-C contiennent à la fois des coques et embouts et des déchets issus de l'exploitation et de la maintenance, compactés.

Le stock total de déchets produits par l'usine de traitement de La Hague à fin 2007 est donné dans le tableau 4.11.

Tableau 4.11 : stocks de déchets produits sur le site de La Hague à fin 2007 en m³ équivalent conditionné

HA	1 650
MA-VL	19 171
FA-VL	4 952
FMA-VC	156 213
TFA	17 113

Produits sur le site de Marcoule (usine UP1)

Ces stocks à fin 2007 sont présentés dans le tableau 4.12.
34 456 fûts d'enrobé bitumineux relevaient dans l'Inventaire national 2006 de la filière de gestion FMA-VC, la possibilité de leur stockage au Centre de stockage FMA de l'Aube (CSFMA) étant en cours d'étude à la date de leur déclaration pour cet Inventaire national. Le stockage au CSFMA de 31 894 de ces fûts a été refusé par l'Andra en 2006. Le rattachement à la filière FA-VL est une option à l'étude actuellement pour ces 31 894 fûts d'enrobés bitumineux (la possibilité d'étendre le nombre de fûts à 40 000 (les 8 106 fûts d'écart avec les 31 894 fûts sont rattachés à la filière de gestion MA-VL dans le présent Inventaire) sera examinée en fonction des résultats de l'étude en cours.

Tableau 4.12 : stocks de déchets produits sur le site de Marcoule à fin 2007 en m³ équivalent conditionné

HA	558
MA-VL	10 684
FA-VL	37 874
FMA-VC	103 329
TFA	14 951

En ajoutant les deux tableaux précédents on obtient ainsi le total suivant, en m³ de déchets français relevant de l'aval du cycle (tableau 4.13) :

Tableau 4.13 : stocks total de déchets à fin 2007 en m³ équivalent conditionné

HA(*)	**2 208**
MA-VL	**29 855**
FA-VL	**42 826**
FMA-VC	**259 542** **dont 231 681 déjà stockés**
TFA	**32 064** **dont 3 203 déjà stockés**

(*) Il s'agit ici de l'ensemble des déchets français produits ou conditionnés dans les usines de traitement, quel que soit le client (EDF, CEA...). En revanche, les déchets produits par le CEA dans le cadre de ses activités expérimentales sur le traitement, et dans ses installations propres, sont comptabilisés au sous-chapitre 4.5.

Production 2008-2030

Les principales hypothèses retenues pour évaluer les volumes à fin 2020 et fin 2030 sont détaillées ci-dessous.

Pour les déchets directement issus des combustibles usés

Pour estimer les quantités de déchets directement issus des combustibles usés EDF à traiter à La Hague, les hypothèses suivantes ont été retenues pour la période 2008-2030 :

- 0,13 m³ de déchets HA (colis de déchets vitrifiés CSD-V) par tonne de combustible traité en moyenne sur la période (0,74 CSD-V par tonne de combustible en moyenne, volume extérieur du CSD-V : 175 litres) ; ce ratio dépend notamment du taux de combustion des combustibles usés livrés par EDF, qui va augmenter progressivement sur la période, et de l'amélioration attendue du taux d'incorporation de produits de fission admissible dans les colis de déchets vitrifiés ;
- 0,156 m³ de déchets de structure (MA-VL) par tonne de combustible traité. Cette quantité moyenne correspond à la production de 0,85 colis de déchets compactés (CSD-C : 183 litres) par tonne, qui inclut à la fois les structures des assemblages des combustibles (coques et embouts) et une partie des déchets liés à l'usage des installations (compactés également en CSD-C).

Pour les déchets liés à l'usage des installations et aux démantèlements :

- environ 1 400 conteneurs bétons de type CBFC'2 (MA-VL) d'un volume de 1,18 m³, contenant des déchets liés à l'exploitation des installations, sont attendus sur la période 2008-2030. Sur cette période, la production annuelle de CBFC'2 est amenée à diminuer progressivement avec l'extension, prévue par AREVA, du domaine de compactage à l'ACC pour ces déchets. À l'horizon 2030, elle devrait être de l'ordre de 40 CBFC'2/an (hors opérations de RCD, qui sont comptabilisées dans les stocks 2007) ;
- environ 4 000 conteneurs métalliques de type colis S5 (MA-VL) sont supposés être produits sur la même période, pour le conditionnement de déchets divers, contaminés surtout par des émetteurs alpha ;
- les volumes de boues bitumées produites à STE3 (MA-VL) par le traitement des effluents sont faibles au regard du stock existant (environ **1 400 fûts** sur la période).

La production moyenne de déchets FMA-VC sur le période est d'environ **2 000 m³/an** (dont 500 m³ lié au démantèlement des installations) à La Hague et **5 000 m³** (dont 3 000 m³ lié au démantèlement des installations) sur Marcoule. Les stocks de déchets existants à fin 2020 et fin 2030 sont présentés dans le tableau 4.14.

Tableau 4.14 : stocks de déchets à fin 2020 et à fin 2030 en m³ équivalent conditionné

	2020	2030
HA	3 594	4 975
MA-VL	33 766	36 520
FA-VL	42 826	42 826
FMA-VC	349 941	419 644
TFA	95 252	144 757

4.3.5 Déchets au titre du démantèlement après 2030

Ces déchets sont relatifs au démantèlement des usines UP2 800 et UP3 de La Hague et de MELOX. Les déchets liés au démantèlement de l'usine UP1 de Marcoule sont comptabilisés au sous-chapitre 4.5 avec ceux relatifs au démantèlement des autres installations du CEA.

Tableau 4.15 : déchets de démantèlement après 2030 en m^3 équivalent conditionné

MA-VL	3 000
FMA-VC	23 200
TFA	30 500

4.3.6 Matières radioactives

La teneur de **l'uranium de traitement** (URT) en uranium 235 fissile est légèrement supérieure à celle de l'uranium naturel. Après un enrichissement complémentaire, il est transformé en uranium de traitement réenrichi (URE), que l'on peut utiliser dans les combustibles classiques.
Deux réacteurs de la centrale de Cruas (EDF) l'utilisent actuellement (voir sous-chapitre 4.2.1). Produit au rythme de 35 tonnes par an, ce type de combustible requiert annuellement environ 280 tonnes d'uranium de traitement, soit près de 35 % de la production annuelle résultant du traitement des combustibles EDF.
Le reste de l'uranium de traitement est entreposé sous différentes formes chimiques : oxyde d'uranium (U_3O_8), hexaflurorure d'uranium (UF_6), ou sous forme de nitrate d'uranyle.
Au 31 décembre 2007, **21 180 tonnes d'URT (dont 2 770 tonnes d'URT étranger)** étaient entreposées (hors de faibles en-cours de nitrate d'uranyle non convertis à cette date) sur les sites AREVA du Tricastin (26) pour l'essentiel, et de La Hague (50).
La totalité de cet uranium a été séparée par le procédé de traitement des combustibles usés mis en œuvre à La Hague, aussi bien pour la filière eau légère qu'UNGG.

Carrousel des boîtes de plutonium à l'usine de fabrication de combustible MOX Melox d'AREVA à Bagnols-sur-Cèze

Au 31 décembre 2007, environ **82 tonnes de plutonium** étaient entreposées en France, dont :

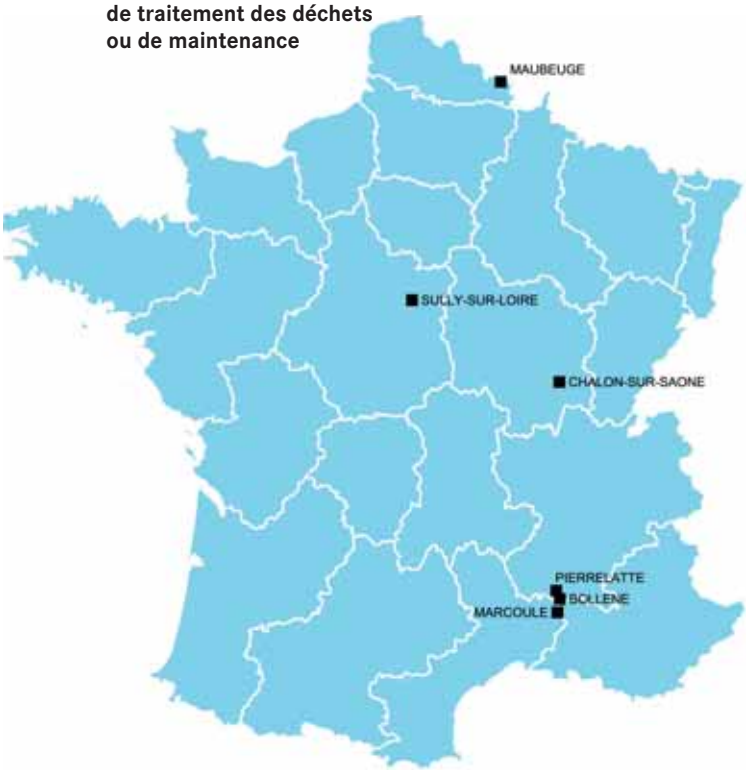
- 61 tonnes de Pu séparées et entreposées à La Hague ;
- 10 tonnes de Pu en cours d'utilisation dans le processus de fabrication de combustibles MOX (sous forme de PuO_2, d'oxyde mixte $(U,Pu)O_2$ ou encore en assemblages MOX finis) ;
- 9 tonnes de Pu en assemblage MOX ou RNR non-irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF ;
- environ 2 tonnes de Pu entreposées dans diverses installations du CEA.

Sur ces 82 tonnes, **60 tonnes sont de propriété française**. Parmi ces 60 tonnes, le stock de Pu séparé d'EDF à La Hague correspond à 29 tonnes environ, soit 3 années de fabrication de combustible MOX.
Le plutonium contenu dans les combustibles usés n'est pas inclus dans ce compte. Le stock de plutonium relevant des activités militaires (voir sous-chapitre 4.10) est couvert par le secret défense.

4.4 établissement de traitement des déchets ou de maintenance

L'exploitation des différentes installations qui manipulent de la radioactivité s'accompagne d'opérations industrielles annexes mais obligatoires : le traitement des déchets liés au fonctionnement et à la maintenance des installations. Généralement, l'exploitant effectue ce traitement et gère les déchets induits sur place. Dans certains cas, quelques établissements, situés sur d'autres sites, réalisent ces opérations pour le compte d'un ou plusieurs exploitants. Cette activité concerne donc tous les secteurs économiques, même si celui de la production électronucléaire fournit la majeure partie des volumes.

Carte des établissements de traitement des déchets ou de maintenance



Fusion de déchets métalliques SOCODEI/CENTRACO

Lingot de fusion

4.4.1 Description des activités et des sites

Les établissements de traitement de déchets

Tous les grands centres d'activité disposent en interne d'installations répertoriées de traitement des déchets.
La société **SOCODEI/CENTRACO à Marcoule (30)** en exploite selon deux procédés :

- la fusion des déchets métalliques ;
- l'incinération de certains déchets.

Elle traite l'ensemble des déchets solides incinérables et liquides de faible activité produits par les installations nucléaires, les laboratoires de recherche et les hôpitaux. Les cendres et mâchefers qui en résultent sont inertés et conditionnés dans des fûts métalliques destinés au Centre de stockage FMA de l'Aube. Il en est de même des lingots issus de la fusion de déchets métalliques.
Les sociétés **STMI et SOCATRI à Bollène (84)** sont spécialisées dans des opérations de transformation, de conditionnement, et d'entreposage de matériaux radioactifs en vue de leur décontamination. À ce titre, elles produisent des déchets radioactifs. L'Andra utilise une partie des installations de la SOCATRI pour entreposer des déchets à vie longue ne pouvant être accueillis actuellement sur ses centres de stockage, ou des déchets à vie courte en attente d'élimination à SOCODEI.
La société **SOGEDEC à Pierrelatte (26)** est une entreprise intervenant dans le domaine du traitement de déchets radioactifs et également du démantèlement et de l'assainissement d'installations nucléaires, de la décontamination de matériels et de déchets, de la maintenance de matériels utilisés en zone nucléaire.

Les centres de maintenance

Des entreprises spécialisées, extérieures aux sites, assurent la maintenance des grandes installations et/ou la décontamination de certains équipements.
Les centres de maintenance (tableau 4.16) sont petits et plus répartis que les établissements de traitement. Ils détiennent en général des quantités plus limitées de déchets, en majorité destinées au Centre de stockage FMA de l'Aube.
La B.C.O.T (Base chaude opérationnelle du Tricastin), située à Bollène (84), effectue des opérations de maintenance et d'entreposage de matériels contaminés des réacteurs EDF, notamment des couvercles de cuves de réacteurs dont un programme de remplacement est en cours.
La société SOMANU (Société de maintenance nucléaire), à Maubeuge (59), est spécialisée dans la réparation, l'entretien et l'expertise de matériels provenant principalement du circuit primaire des réacteurs et de ses auxiliaires.

Tableau 4.16 : centres de maintenance

B.C.O.T.	Bollène (84)
SOMANU	Maubeuge (59)
VISIONIC	Sully-sur-Loire (45)
CEMO	Chalon-sur-Saône (71)
CETIC	Chalon-sur-Saône (71)
SOGEDEC	Pierrelatte (26)

4.4.2 Déchets produits

Les déchets traités et conditionnés par ces installations, ainsi que ceux qu'elles produisent en propre dans le cadre de leur exploitation, relèvent de ce secteur d'activité.

4.4.3 Scénario pour 2008-2030

On suppose que ces établissements continueront à produire des déchets avec un rythme voisin du rythme actuel, soit environ 800 m^3/an de déchets FMA-VC et 200 m^3/an de déchets TFA.

4.4.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.17 présente les stocks de déchets du secteur d'activité « Établissement de traitement de déchets ou de maintenance » à fin 2007, fin 2020 et fin 2030.

Tableau 4.17 : stocks de déchets à fin 2007, à fin 2020 et à fin 2030 en m^3 équivalent conditionné

	2007	2020	2030
FMA-VC	15 308 dont 13 489 déjà stockés	26 093	33 161
TFA	6 695 dont 2 444 déjà stockés	9 716	11 966

4.5 centres d'études et de recherche du CEA civil

Ce secteur d'activité regroupe les installations et les établissements des centres d'études civils du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), actuellement en exploitation ou mis à l'arrêt. Les activités du CEA relatives au maintien de la capacité de dissuasion nucléaire de la France sont présentées dans le sous-chapitre 4.10.

Chaîne de vitrification à Atalante (Marcoule)

Carte des centres d'études et de recherche du CEA civil

4.5.1 Description des activités et des sites

Activités

Le CEA apporte un soutien permanent aux industriels nucléaires en France en cherchant à optimiser le parc actuel des réacteurs nucléaires et à optimiser le cycle du combustible. En aval, il met au point des solutions techniques pour la gestion des déchets radioactifs.
À l'échelle internationale, le CEA participe aux programmes de recherche sur les réacteurs et combustibles nucléaires du futur qui assureront une production durable à la fois plus sûre et générant moins de déchets.

Dans ce cadre, il a en charge la réalisation du prototype d'un réacteur de « génération IV » et poursuit, dans un cadre européen, des recherches sur la **fusion thermonucléaire** contrôlée, avec, pour objectif à très long terme, la production d'électricité (voir encadré 4.2).
Le CEA est responsable de l'assainissement et du démantèlement de ses installations nucléaires. Il conduit enfin des programmes sur l'impact sanitaire et environnemental de l'énergie nucléaire.

Sites

Le CEA dispose de **cinq centres civils d'études**, brièvement décrits ci-dessous, et de quatre centres dédiés aux applications militaires, décrits dans le sous-chapitre 4.10. Il y exploite de nombreuses installations, laboratoires et réacteurs nucléaires de recherche pour mener des programmes. La gestion de ces installations nucléaires induit la production de déchets similaires à ceux des autres exploitants nucléaires (déchets de maintenance, outils contaminés) mais d'une variété souvent plus étendue. Ses activités de recherche sur le fonctionnement des réacteurs et sur le traitement des combustibles usés l'amènent à gérer des déchets du type de ceux évoqués au sous-chapitre 4.3 (déchets vitrifiés, déchets de structure).

Les centres civils du CEA

Fontenay-aux-Roses

Le centre de Fontenay-aux-Roses est en pleine mutation : ses installations nucléaires de recherche, mises à l'arrêt, font l'objet d'un programme d'assainissement et de démantèlement qui est actuellement en cours. Les déchets produits sont, pour la plupart, contaminés par des émetteurs alpha ainsi que par des produits de fission. Sur ce site historique, les recherches concernaient les domaines du génie chimique, du traitement des assemblages combustibles et de la chimie des éléments transuraniens. Elles laissent progressivement la place au développement d'activités de recherche en sciences du vivant et en recherche technologique.

Saclay

Le centre dispose de moyens lourds (réacteurs ORPHEE, OSIRIS) pour la recherche fondamentale et les recherches appliquées aux besoins de la production électronucléaire. Les déchets produits sont traités et conditionnés dans les installations supports du centre : INB 72 pour les solides et INB 35 pour les liquides (voir encadré installation STELLA).
Les réacteurs pilotes EL1, EL2, EL3 de la filière uranium naturel-graphite-gaz, sont à démanteler.

Grenoble

Le centre d'études nucléaires de Grenoble dispose d'installations qui étaient utilisées dans le cadre des recherches sur le développement de la filière électronucléaire (les réacteurs MELUSINE, SILOE et SILOETTE aujourd'hui arrêtés) et d'installations supports associées.
Lancé en 2001, le Projet d'assainissement des sites radioactifs du centre CEA de Grenoble (PASSAGE) consiste à assainir puis à démanteler les six installations nucléaires de base (INB) du centre de Grenoble d'ici 2012. Le centre disposera à terme de bâtiments industriels qu'il pourra affecter à d'autres activités de recherche.
Le centre d'étude de Grenoble se consacre désormais essentiellement aux nouvelles technologies de l'énergie, de l'électronique, de la santé et de l'information.

Assainissement du réacteur MELUSINE à Grenoble

Marcoule

Le site de Marcoule était, à fin 2004, géré par AREVA. La responsabilité du site a été transférée au CEA début 2005.

Les activités concernant l'aval du cycle sont décrites dans le sous-chapitre 4-3.

Le centre de Marcoule comporte également le réacteur PHENIX, outil de recherche du CEA pour des programmes sur la transmutation des actinides, ce réacteur doit être arrêté prochainement.

L'ancien réacteur G1 de Marcoule, utilisé à des fins en partie militaires, est arrêté et sous la responsabilité du CEA civil.

Les activités de recherche portent sur les techniques de préparation de l'uranium, la mise au point de procédés industriels de traitement du combustible plus performants dans les laboratoires d'ATALANTE, le traitement des combustibles nucléaires usés (loi du 28 Juin 2006), les techniques d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires en fin de vie et la gestion des déchets les plus radioactifs.

Centrale PHENIX à Marcoule

Cadarache

Les activités du centre de Cadarache sont réparties autour de plusieurs plates-formes de recherche et développement (R&D) technologiques essentiellement pour l'énergie nucléaire (fission et fusion, voir encadré 4.2) mais aussi pour les nouvelles technologies pour l'énergie et les études sur l'écophysiologie végétale et la microbiologie.

Les activités de R&D visent à optimiser les réacteurs nucléaires et étudient le comportement des combustibles à base d'uranium ou de plutonium dans différentes configurations (réacteur expérimental de la filière RNR aujourd'hui arrêté : RAPSODIE, ou de la filière REP : SCARABEE, CABRI).

Le site dispose d'une vingtaine d'installations parmi lesquelles des installations d'entreposage de matières radioactives et de déchets MA-VL.

Encadré 4.2

ITER : UN OUTIL DE RECHERCHE POUR LA FUSION THERMONUCLÉAIRE CONTROLÉE

Dans le cadre du développement de la fusion thermonucléaire contrôlée, ITER va permettre de franchir une étape importante entre les machines actuelles et d'éventuels futurs réacteurs de production d'électricité fondés sur la fusion, en apportant la démonstration de la faisabilité scientifique de ce procédé. Son fonctionnement est fondé sur l'établissement d'un plasma tritium-deutérium avec une puissance de 500 MW.

Le projet constitué par cette machine de fusion est international. Il implique la République populaire de Chine, l'Union européenne et la Suisse, le Japon, la République de Corée, la Fédération de Russie, et les États-Unis d'Amérique. Ces partenaires ont choisi de l'implanter sur le site de Cadarache.

La durée de construction est estimée à 10 ans. Ensuite une durée d'exploitation de 20 ans est prévue. Le démantèlement s'achèverait 20 ans après la fin d'exploitation.

Les déchets produits ont été évalués dans le cadre du projet « Entreposage des déchets tritiés sans filière » (EDTSF) dont les conclusions ont été rendues au ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT) fin 2008 (voir encadré au chapitre 3). Ils sont évalués à 972 m^3 de déchets très faiblement radioactifs tritiés, à 889 m^3 de déchets tritiés purs dégazants, 12 227 m^3 de déchets tritiés irradiants vies courtes, 2 454 m^3 de déchets tritiés irradiants vies longues.

Ces déchets présenteront une activité spécifique en tritium importante ; certains d'entre eux contiendront du béryllium.

4.5.2 Déchets produits

Les déchets de Marcoule, relatifs à l'aval du cycle sont décrits au sous-chapitre 4.3.

Déchets HA

Les déchets HA conditionnés autrefois par le CEA dans ses installations propres sont d'un volume réduit, 11 m^3. Ils se présentent sous la forme de déchets vitrifiés situés dans l'Atelier pilote de Marcoule. D'autres déchets HA ont été vitrifiés pour le compte du CEA dans les usines de traitement de La Hague et Marcoule. Ils sont comptabilisés dans les déchets HA de l'activité « Aval du cycle du combustible » (voir sous chapitre 4.3) et représentent une part marginale de ces déchets.

Fûts de 870 litres de déchets cimentés

Coque béton

Caisson métallique en cours de remplissage

Déchets MA-VL

Les déchets MA-VL comprennent essentiellement :

- les déchets en fûts de 870 litres, conditionnement adopté par le CEA, qui sont entreposés à Cadarache ;
- les déchets en fûts de 500 litres ou en coques béton de même volume ;
- des déchets correspondants à des activités de recherche spécifiques, sur des volumes réduits (sulfate de plomb radifères du CEA...).

Déchets FMA-VC et TFA

Ce sont essentiellement des déchets de maintenance et d'exploitation du CEA, ainsi que des déchets de démantèlement d'installations arrêtées. Ils sont conditionnés en caissons ou en fûts métalliques et, pour les TFA, en big-bags ou en casiers.

4.5.3 Scénario pour la période 2008-2030

La continuité des programmes de recherche du CEA est supposée. Ces programmes doivent valider les options scientifiques et techniques relatives à des réacteurs de nouvelle génération ou définir des options d'enrichissement de l'uranium, de traitement des combustibles usés et de gestion des déchets.

Le CEA a construit récemment ou programmé la construction de quatre nouvelles installations pour le traitement et l'entreposage des déchets :

- la station de traitement des effluents liquides actifs STELLA à Saclay ;
- l'installation d'entreposage CEDRA à Cadarache ;
- l'Atelier de gestion avancée et de traitement des effluents (AGATE) à Cadarache ;
- le réacteur expérimental Jules Horowitz (RJH), voir encadré 4.3.

Deux de ces installations (CEDRA et STELLA, voir annexe 4 et encadré 4.4) ont été autorisées par décret interministériel. Fin 2007, plus de 780 colis étaient entreposés dans les bâtiments de CEDRA.

Les installations AGATE (voir encadré 4.5) et RJH (voir encadré 4.3) sont entrées en phase de construction.

Les campagnes de reprise des déchets anciens continuent

Principalement avant les années 1990, le CEA a constitué un stock de déchets anciens. Certains sont restés dans les installations de Recherche, d'autres ont été entreposés dans des installations à Saclay et Cadarache. Mais leurs conditions d'entreposage ne garantissent pas un niveau de sûreté correspondant aux critères actuels.

Un vaste plan de reprise de ces déchets anciens a donc été engagé. Les colis qui en résulteront seront envoyés pour stockage au Centre de stockage FMA de l'Aube, ou entreposés dans des installations du CEA. On note la reprise des tranchées et des fosses de l'INB 56 à Cadarache. Ces opérations ont fait l'objet d'un chantier pilote entre 1995 et 1996. Elles devraient produire des déchets FMA-VC et MA-VL, pour un total estimé à ce jour à 4 400 m^3.

On comptabilise également diverses opérations de reprise de déchets anciens dans les installations suivantes :

- INB (Installation nucléaire de base) 166 à Fontenay-aux- Roses : environ 150 m^3 de déchets dans divers conditionnements, entreposés en puits et en alvéoles de décroissance et relevant pour la plupart de la catégorie MA-VL, seront repris et conditionnés ;
- INB 79 sur le centre de Grenoble : les déchets de moyenne activité, majoritairement produits par l'assainissement des INB du CEA Grenoble

sont en cours de reprise. La reprise de ces déchets devrait s'achever fin 2010 ;

- INB 22 (PEGASE) à Cadarache : environ 2 700 fûts de 100 litres contenant des déchets contaminés seront traités et reconditionnés sur place dès 2009 puis envoyés en entreposage dans CEDRA (voir annexe 4) ;
- INB 72 à Saclay : environ 700 fûts de 60 litres de déchets technologiques compactés et de déchets divers seront reconditionnés. Environ 90 % d'entre eux relèvent de la catégorie MA-VL.

Le démantèlement des installations anciennes du CEA continue jusqu'en 2020 et au-delà. La poursuite de la dénucléarisation des centres de Grenoble et de Fontenay-aux-Roses en constitue l'axe fort. Durant les deux prochaines décennies, ces actions vont produire la majeure partie des déchets TFA. Le démantèlement du réacteur G1 produira des déchets de graphite (les empilements), de type FA-VL.

Les combustibles usés du CEA destinés au traitement (c'est-à-dire autres que les combustibles du réacteur de recherche Osiris, les combustibles UNGG non traités à ce jour et divers combustibles expérimentaux) sont considérés comme traités, à La Hague, à l'échéance 2020. Les réacteurs expérimentaux ont produit des combustibles usés qu'il faut diriger vers une filière de gestion. Le CEA privilégie leur traitement et leur valorisation pour minimiser les volumes de déchets finaux. La stratégie de référence de gestion des combustibles usés est fondée sur un recours prioritaire aux usines de retraitement d'AREVA à La Hague, ces opérations étant soumises à l'Autorité de sûreté nucléaire avant d'être effectives (les déchets correspondants sont pris en compte au sous-chapitre 4.3). Les paramètres susceptibles de conduire à un autre choix sont les difficultés techniques de traitement (formes chimiques des combustibles non standards) ainsi que le faible intérêt stratégique.
Par ailleurs, dans ce scénario de production de combustibles usés, le réacteur RJH (voir encadré 4.3) démarrera au cours de la décennie 2010-2020.

Nota : les combustibles usés du RJH ne sont pas comptabilisés dans les matières radioactives présentées au paragraphe 4.5.6.

Encadré 4.3

RÉACTEUR JULES HOROWITZ (RJH)

Le RJH a pour but de mettre au point et de tester de nouveaux combustibles et matériaux qui seront mis en œuvre dans les réacteurs électrogènes d'aujourd'hui et de demain, notamment pour préparer la 4e génération. Au-delà de ces applications dans le domaine de l'énergie, le RJH assurera la production de 25 % des besoins européens en radioéléments utilisés en médecine nucléaire et pourra contribuer à la production de silicium de haute performance pour les composants de l'industrie de l'électronique.

La construction du RJH a été lancée le 19 mars 2007. Sa mise en service est prévue en 2014.

Des informations complémentaires sont disponibles à l'adresse internet suivante :

www.cea.fr/le_cea/actualites/reacteur_de_recherche_jules_horowitz

Le combustible du RJH devrait être entreposé dans l'installation avant d'être envoyé à l'usine AREVA de La Hague pour y être traité. Les déchets solides courants (moins d'une centaine de m^3 par an en moyenne dont environ 30 % de TFA et 70 % de FMA-VC) seront évacués vers les centres de stockage de l'Andra. Les échantillons liés aux expériences seront orientés vers les laboratoires d'examen du CEA ou d'autres instituts européens.

La production des déchets FMA-VC liée à l'usage des installations existantes à fin 2007 est estimée à environ 600 m^3/an.

Encadré 4.4

STATION DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS LIQUIDES ACTIFS (STELLA À SACLAY)

Dans l'INB35 sont traités les effluents radioactifs de la région parisienne.

Le nouvel atelier « procédé », STELLA (évaporation et cimentation) a été raccordé en actif au reste de l'installation en décembre 2008.

Les essais en actif qui doivent se dérouler en 2009 constituent la dernière étape avant la montée en régime de cet atelier dont le dimensionnement permettra de traiter 1 500 m^3 d'effluents par an tout en cimentant de l'ordre de 60 m^3 de concentrats d'évaporation.

Vue d'ensemble de STELLA et de l'INB35

Encadré 4.5

L'ATELIER DE GESTION AVANCÉE ET DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS (AGATE)

La Station de traitement des effluents aqueux du site de Cadarache (INB37-STE), mise en service en 1965, est arrivée en fin de vie.

L'Atelier de gestion avancée et de traitement des effluents (AGATE) est l'installation qui remplacera l'INB 37 pour le traitement des effluents de faible et moyenne activité produits par les installations du centre de Cadarache et d'autres centres du CEA.

Le dimensionnement des installations d'AGATE est fondé sur :

- le dépotage et l'entreposage des effluents de faible et moyenne activité ;
- le traitement de ces effluents.

AGATE a obtenu son décret d'autorisation de création en avril 2008.

La mise en service de cette installation est prévue à l'horizon 2011.

4.5.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.18 présente les stocks de déchets du secteur d'activité « centres d'études et de recherche du CEA civil » à fin 2007, fin 2020 et fin 2030.

Tableau 4.18 : stocks de déchets à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 en m^3 équivalent conditionné

	2007	2020	2030
HA	85	85	85
MA-VL	10 727	11 292	11 718
FA-VL	4	4	578
FMA-VC	112 359 dont 104 322 déjà stockés	128 574	135 661
TFA	68 466 dont 35 896 déjà stockés	126 816	152 566

4.5.5 Déchets au titre du démantèlement après 2030

Les volumes présentés ci-dessous correspondent aux déchets de démantèlement de l'ensemble des installations du CEA (site de Marcoule compris).

Tableau 4.19 : déchets de démantèlement après 2030 en m^3 équivalent conditionné

MA-VL	750
FA-VL	5 700
FMA-VC	32 000
TFA	115 000

4.5.6 Matières radioactives

Les combustibles irradiés issus des réacteurs expérimentaux du CEA prennent des formes variées contrairement aux combustibles EDF, standardisés du fait de l'uniformité du parc électronucléaire. Les combustibles usés destinés au traitement, donc considérés comme des matières radioactives, sont présentés dans le tableau 4.20. On notera que les combustibles usés qui seront déchargés à terme par le réacteur RJH ne sont pas comptabilisés dans ce tableau.
Du fait du traitement de combustibles d'anciens réacteurs, le CEA possède également un stock d'uranium appauvri (environ 124 tML).
Par ailleurs, sur les sites du CEA étaient également entreposés à fin 2007 : 13 tML d'uranium extrait de la mine, 14 tML d'uranium enrichi et 1,5 tonne de plutonium.
Enfin, 2 265 tonnes de thorium appartenant majoritairement à AREVA étaient entreposées à fin 2007 sur le site CEA de Cadarache (13).

Tableau 4.20 : combustibles usés (en tML) du CEA civil en attente de traitement à fin 2007, à fin 2020 et à fin 2030

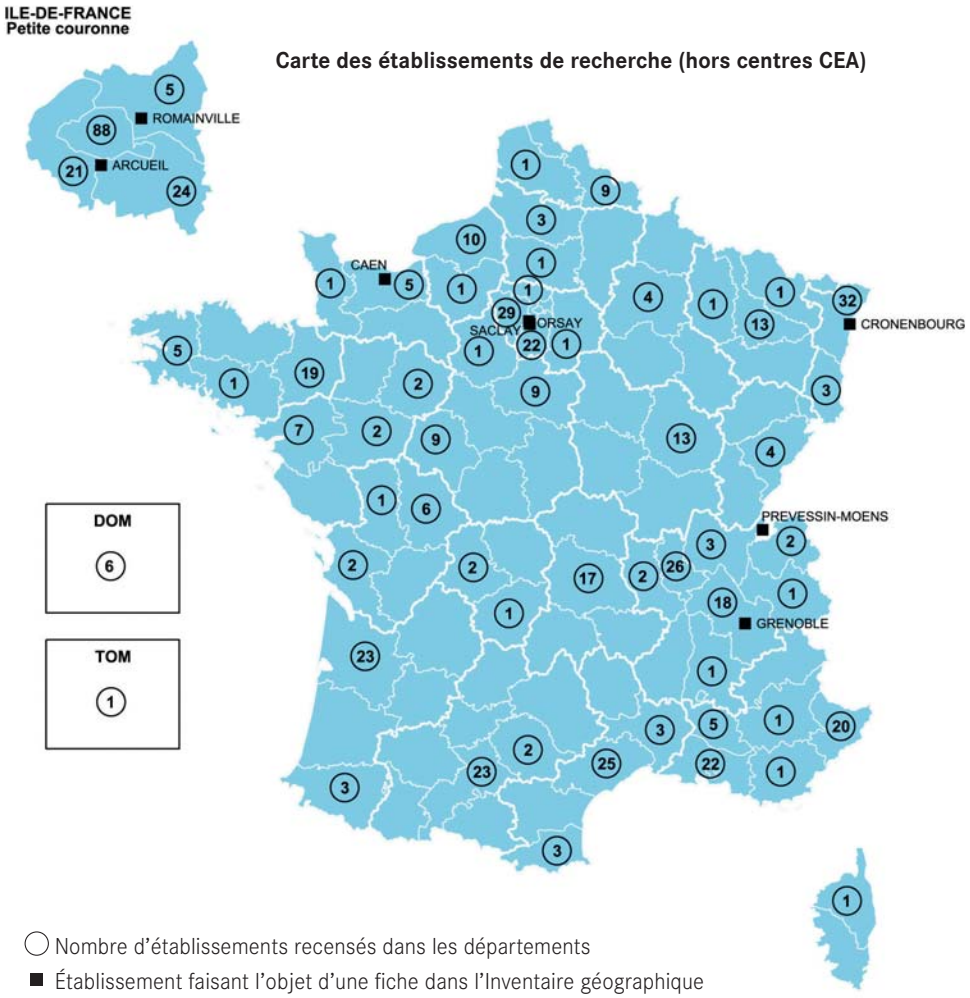
Combustibles	2007	2020	2030
RNR (PHENIX)	40	3	0
Divers	1	1	0

4.6 établissements de recherche (hors centres CEA)

Ce secteur d'activité regroupe tous les établissements publics ou privés à vocation de recherche, ainsi que les unités des grands établissements ou des grands groupes industriels qui se consacrent, essentiellement, ou exclusivement, à la recherche.

Vue aérienne du GANIL. Le grand accélérateur national d'ions lourds, en exploitation depuis 1983, est un équipement commun à la DSM (CEA) et à l'IN2P3 (CNRS)

Carte des établissements de recherche (hors centres CEA)



◯ Nombre d'établissements recensés dans les départements

■ Établissement faisant l'objet d'une fiche dans l'Inventaire géographique

4.6.1 Description des activités et sites

De nombreux établissements publics ou privés utilisent des radionucléides. Globalement l'Andra a dénombré à fin 2007, 569 producteurs dans le domaine de la Recherche (hors CEA). On peut citer notamment :

- de nombreux laboratoires de recherche médicale, dépendant des facultés de médecine ou de pharmacie, et hébergés au sein des hôpitaux ou des CHU ;

- des laboratoires du CNRS ou des unités mixtes de recherche associées au CNRS, le plus souvent hébergés au sein de facultés, d'instituts ou de grandes écoles ;
- des unités de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), dont les accélérateurs de particules d'Orsay et de Caen (GANIL) ;
- le réacteur de l'Institut Laue Langevin (ILL) à Grenoble et le Centre européen pour la recherche nucléaire (CERN), à la frontière franco-suisse ;
- les établissements, laboratoires ou unités associés à l'Institut national de recherche agronomique (INRA) ;
- l'Établissement français du sang (EFS), qui procède à des tests et analyses de biologie médicale ;
- les unités de recherche de l'INSERM, généralement hébergées au sein des hôpitaux, des CHU ou des centres de lutte contre le cancer ;

Manipulation en laboratoire

- les établissements ou les unités de recherche de statut privé de l'industrie chimique ou pharmaceutique ;
- les réacteurs et installations diverses arrêtés (dont le réacteur ULP à Strasbourg).

4.6.2 Déchets produits

Dans ce secteur, les radionucléides les plus courants sont, pour les vies très courtes, le phosphore 32 et 33, le soufre 35, le chrome 51, l'iode 125 ; pour les vies courtes, le tritium ; pour les vies longues, le carbone 14. En biologie cellulaire et moléculaire, ils servent à marquer des molécules auxquelles ils sont incorporés. Ils s'utilisent souvent sous forme de sources non scellées (c'est-à-dire de petits échantillons de liquides). Après utilisation, celles-ci deviennent des déchets liquides en général confiés à l'Andra qui les expédie pour traitement à CENTRACO (voir sous-chapitre 4.4). Si les déchets ont une période inférieure à 100 jours, ils restent sur place, en attente de la décroissance de leur radioactivité.

La majorité des déchets sont des FMA-VC ou des TFA

Ils sont produits par les installations de recherche, du type accélérateurs de particules : résidus de produits utilisés (tritium, émetteurs alpha) ou équipements activés par le flux de particules. L'utilisation des sources non scellées conduit également à la production de déchets solides (gants tubes, verreries...) contaminés. Des sources scellées sont également utilisées (voir sous-chapitre 4.8).

Le tableau 4.21 présente les radionucléides recensés dans le domaine de la recherche.

Tableau 4.21 : radionucléides les plus couramment utilisés dans le domaine de la recherche, (selon les déclarations des producteurs)

Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
^{3}H	TRITIUM	12,33 ans
^{7}Be	BÉRYLLIUM 7	53,20 jours
^{14}C	CARBONE 14	5 700 ans
^{22}Na	SODIUM 22	2,6 ans
^{32}P	PHOSPHORE 32	14,27 jours
^{33}P	PHOSPHORE 33	25,38 jours
^{35}S	SOUFRE 35	87,32 jours
^{44}Ti	TITANIUM 44	60 ans
^{45}Ca	CALCIUM 45	163 jours
^{46}Sc	SCANDIUM 46	83,81 jours
^{51}Cr	CHROME 51	27,7 jours
^{53}Mn	MANGANÈSE 53	$3,68.10^{6}$ ans
^{54}Mn	MANGANÈSE 54	312,1 jours
^{56}Co	COBALT 56	77,31 jours
^{57}Co	COBALT 57	271,8 jours
^{59}Fe	FER 59	44,5 jours
^{60}Co	COBALT 60	5,27 ans
^{65}Zn	ZINC 65	244,15 jours
^{68}Ga	GALLIUM 68	1,13 heure
^{75}Se	SÉLÉNIUM 75	119,64 jours
^{83}Rb	RUBIDIUM 83	86,2 jours
^{85}Sr	STRONTIUM 85	64,85 jours
^{86}Rb	RUBIDIUM 86	18,64 jours
^{88}Y	YTTRIUM 88	160,63 jours
^{88}Zr	ZIRCONIUM 88	83,4 jours
^{90}Sr	STRONTIUM 90	28,8 ans
^{95}Nb	NOBIUM 95	35 jours
^{99}Tc	TECHNÉTIUM 99	$2,14.10^{5}$ ans

Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
^{103}Ru	RUTHÉNIUM 103	39,26 jours
^{109}Cd	CADMIUM 109	1,27 ans
^{111}In	INDIUM 111	2,80 jours
^{123}I	IODE 123	13,22 heures
^{125}I	IODE 125	59,41 jours
^{126}Sn	ÉTAIN 126	$2,3.10^{5}$ ans
^{129}I	IODE 129	$1,61.10^{7}$ ans
^{131}I	IODE 131	8,02 jours
^{133}Ba	BARYUM 133	10,5 ans
^{134}Cs	CÉSIUM 134	2,07 ans
^{137}Cs	CÉSIUM 137	30,04 ans
^{139}Ce	CÉRIUM 139	137,64 jours
^{141}Ce	CÉRIUM 141	32,50 jours
^{152}Eu	EUROPIUM 152	13,53 ans
^{153}Gd	GADOLINUM 153	240,4jours
^{154}Eu	EUROPIUM 154	8,6 ans
^{169}Yb	YTTERBIUM 169	32,01 jours
^{185}W	TUNGSTÈNE 185	75,1 jours
^{194}Hg	MERCURE 194	440 ans
^{204}Tl	THALLIUM 204	3,8 ans
^{207}Bi	BISMUTH 207	37,76 ans
^{208}Po	POLONIUM 208	2,93 ans
^{210}Pb	PLOMB 210	22,2 ans
^{226}Ra	RADIUM 226	1 600 ans
^{227}Ac	ACTINIUM 227	21,77 ans
^{231}Pa	PROTACTINIUM 231	$3,28.10^{4}$ ans
^{232}U	URANIUM 232	69,8 ans
^{233}U	URANIUM 233	$1,59.10^{5}$ ans

Source : base de données JEF 3.1.1. (OCDE-AEN)

4.6.3 Scénario pour 2008-2030

Pour ce secteur d'activité, le niveau de production actuel de déchets est supposé stable à environ 100 m³ par an de déchets relevant de la filière FMA-VC et 400 m³ de déchets TFA.
Cette prévision globale inclut aussi les déchets des établissements médicaux (voir sous-chapitre 4.7).

4.6.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Au cours de l'année 2007, l'Andra a collecté environ 310 m³ de déchets issus de la recherche privée, de la recherche publique et des hôpitaux. La part de ces déchets qui est stockée au Centre de stockage FMA de l'Aube est dans la plupart des cas compactée ou incinérée.
Le tableau 4.22 présente les stocks de déchets du secteur d'activité « Établissements de recherche hors centres CEA » à fin 2007, fin 2020 et fin 2030.

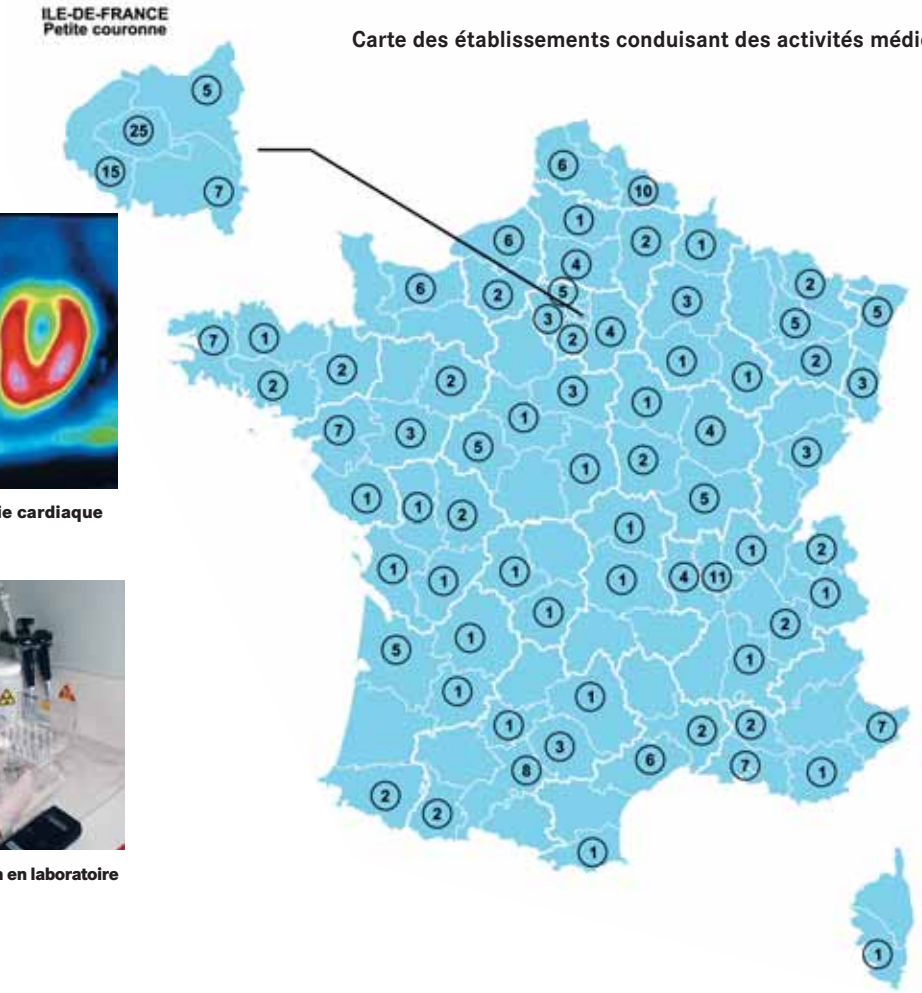
Tableau 4.22 : stocks de déchets à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 en m³ équivalent conditionné

	2007	2020	2030
MA-VL	2	2	2
FA-VL	63	63	63
FMA-VC	13 165 dont 12 313 stockés	15 178	16 677
TFA	2 160 dont 796 stockés	7 360	11 360

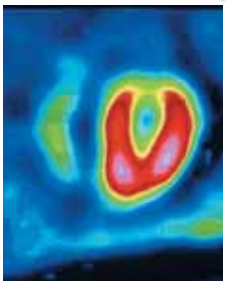
4.7 activités médicales : diagnostic, thérapeutique, analyses

Ce secteur d'activité regroupe tous les établissements de statut public ou privé qui utilisent des radionucléides à des fins d'analyses ou de soins dans le domaine de la médecine. Les centres de recherche médicale en sont exclus et appartiennent au secteur d'activité précédent.

Carte des établissements conduisant des activités médicales



Source scellée – télégammathérapie cobalt 60



Scintigraphie cardiaque

Boîte d'aiguilles au radium

Manipulation en laboratoire

4.7.1 Description de l'activité et des sites

Ce secteur recouvre trois grands domaines :

- les analyses de **biologie**, effectuées *in vitro* sur des prélèvements biologiques dans un but de diagnostic ;
- les techniques d'**imagerie médicale**, utilisées en diagnostic ;
- les applications en **thérapeutique**, effectuées *in vitro* ou *in vivo*.

Les sites concernés, au nombre de 264, sont les suivants :

- **des hôpitaux du service public ou des centres hospitaliers**, lorsqu'ils possèdent un service de médecine nucléaire (imagerie médicale et/ou thérapeutique) et/ou des laboratoires de biologie ;
- **des cliniques ou hôpitaux privés** qui disposent d'unités internes (diagnostic ou thérapeutique) ou hébergent des unités externes (unités de radiothérapie) ;
- **des Centres hospitaliers universitaires (CHU)**
  Ils regroupent un ou plusieurs hôpitaux ainsi que des services de biologie ou de biochimie. Ils hébergent souvent des unités externes (Inserm, laboratoires de la faculté de médecine ou de pharmacie...) ;
- **des laboratoires d'analyses médicales,** spécialisés dans les analyses biologiques ;
- **des Centres régionaux de lutte contre le cancer (CRLCC)**
  Ces établissements de santé privés, à but non lucratif, disposent d'unités de médecine nucléaire, de laboratoires d'analyse et de structures de recherche biomédicale ;
- **les Services de santé des armées (SSA)** avec leurs hôpitaux d'instruction des armées (HIA) et leurs laboratoires spécialisés (médecine tropicale...).

Ces établissements utilisent essentiellement **des sources non scellées**, c'est-à-dire des éléments radioactifs contenus dans les solutions liquides. Les services de médecine nucléaire, et les laboratoires associés à la médecine nucléaire, ainsi que les laboratoires de recherche biomédicale, en sont les plus grands consommateurs.

Ces mêmes établissements emploient aussi des sources scellées (voir sous-chapitre 4.8), pour la radiothérapie, la curiethérapie et l'étalonnage des appareils de mesure de l'activité des produits injectés aux patients. La vérification des caméras sensibles aux rayons des scanners hospitaliers et des caméras utilisées pour la tomographie par émission de positons sollicite aussi de telles sources.

Domaines d'application

Les applications diagnostiques *in vitro*

Réalisées dans des laboratoires de radioanalyse généralement associés à un service de médecine nucléaire, elles permettent des dosages biologiques sur des échantillons.

Les radioanalyses deviennent indispensables lorsque les techniques conventionnelles de dosage échouent, par exemple en raison de la faible teneur de la substance à doser ou de sa complexité chimique. Les principaux radionucléides utilisés sont le tritium, le phosphore 32, l'iode 125...

De nombreux laboratoires recensés pratiquent aussi la radio-immuno-analyse. Certaines techniques, fondées sur la chimie-luminescence, tendent à remplacer le recours aux radionucléides, par exemple pour des dosages hormonaux.

Les applications diagnostiques *in vivo*

Diverses applications diagnostiques en imagerie médicale reposent directement sur les propriétés de la radioactivité : rayonnement X ou radionucléides. Ces techniques permettent de localiser et d'examiner les organes (imagerie médicale anatomique), ou d'en visualiser le fonctionnement (imagerie médicale fonctionnelle).

En scintigraphie, avec l'administration d'un produit radiopharmaceutique au patient, un appareil de détection suit le marqueur dans le corps pour établir une image dynamique interne, d'un organe par exemple.

Il en apprécie le fonctionnement en interprétant les images obtenues et fournit un diagnostic qualifié d'*in vivo*.
Les radionucléides restent largement utilisés pour des scintigraphies osseuse, thyroïdienne, cardiaque, pulmonaire...
Parmi les plus utilisés, figurent le technétium 99 métastable, le thallium 201, l'iode 131, l'iode 123 ou le gallium 67 (voir tableau 4.23).
Les techniques de tomographie s'appuient sur les propriétés des rayonnements X ou gamma. Actuellement, la tomographie par émission de positons avec utilisation du fluor 18 se développe pour des applications en neurologie, en cardiologie ou en cancérologie.

Tableau 4.23 : principaux radionucléides utilisés dans le domaine médical (classés par nombre de masse croissant) avec indication de leur période radioactive

Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
^{3}H	TRITIUM	12,33 ans
^{14}C	CARBONE 14	5700 ans
^{15}O	OXYGÈNE 15	2,04 minutes
^{18}F	FLUOR 18	1,83 heures
^{22}Na	SODIUM 22	2,6 ans
^{32}P	PHOSPHORE 32	14,27 jours
^{33}P	PHOSPHORE 33	25,38 jours
^{35}S	SOUFRE 35	87,32 jours
^{51}Cr	CHROME 51	27,7 jours
^{57}Co	COBALT 57	271,8 jours
^{58}Co	COBALT 58	70,86 jours
^{67}Ga	GALLIUM 67	3,26 jours
^{68}Ga	GALLIUM 68	1,13 heure
^{68}Ge	GERMANIUM 68	270,95 jours
$^{81(m)}Kr$	KRYPTON 81$^{(m)}$	12,8 secondes
^{81}Rb	RUBIDIUM 81	4,58 heures
^{88}Y	YTTRIUM 88	106,63 jours
^{89}Sr	STRONTIUM 89	50,57 jours
^{90}Y	YTTRIUM 90	2,67 jours

Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
^{99}Mo	MOLYBDÈNE 99	2,75 jours
$^{99(m)}Tc$	TECHNÉTIUM 99$^{(m)}$	6,01 heures
^{111}In	INDIUM 111	2,80 jours
^{123}I	IODE 123	13,22 heures
^{125}I	IODE 125	59,41 jours
^{131}I	IODE 131	8,02 jours
^{133}Xe	XÉNON 133	5,24 jours
^{137}Cs	CÉSIUM 137	30,04 ans
^{153}Sm	SAMARIUM 153	1,93 jour
^{169}Er	ERBIUM 169	9,40 jours
^{186}Re	RHÉNIUM 186	3,78 jours
$^{186(m)}Re$	RHÉNIUM 186$^{(m)}$	$1{,}996.10^{9}$ ans
^{192}Ir	IRIDIUM 192	73,82 jours
^{201}Tl	THALLIUM 201	3,04 jours
^{226}Ra	RADIUM 226	1 600 ans
^{227}Ac	ACTINIUM 227	21,77 ans

Source : base de données JEF 3.1.1. (OCDE-AEN)

Les applications thérapeutiques des sources non scellées se fondent sur la destruction sélective de cellules, *via* l'utilisation d'un produit radiopharmaceutique. Ce dernier contient un radionucléide qui se fixe de façon durable et spécifique sur l'organe ou tissu à irradier. L'objectif, comme en radiothérapie externe, est la destruction des cellules cancéreuses et la préservation maximale des cellules saines. Certaines techniques réclament des radionucléides spécifiques conditionnés sous des formes particulières (iode 131 en gélules, iridium 192 en fils).

Le domaine médical utilise aussi des sources scellées. La radiothérapie s'appuie par exemple sur le rayonnement gamma de sources de cobalt 60. Le césium 137 n'est plus utilisé en radiothérapie externe, l'utilisation de cobalt 60 est en voie de disparition. L'activité des sources scellées utilisées en radiothérapie est élevée, avec des périodes de plusieurs années. Le nombre d'autorisations en télégammathérapie est très supérieur au nombre d'installations détenant des appareils avec des sources. La technique étant devenu obsolète, ces appareils sont remplacés par des accélérateurs.

En curiethérapie (ou radiothérapie interne), le traitement de certains cancers comme celui de la prostate s'effectue par introduction définitive dans la prostate de grains d'iode 125 et, dans le domaine gynécologique, par application en interne de grains de césium 137 insérés dans des tubes scellés. Les principaux radionucléides employés en curiethérapie, le césium 137, l'iode 125 et l'iridium 192, ont définitivement remplacé le radium utilisé historiquement dans la première moitié du XXe siècle sous forme d'aiguilles et de tubes. Leurs périodes radioactives sont, respectivement, de 30 ans, 59,4 jours, et de 73,8 jours.

Les objets au radium

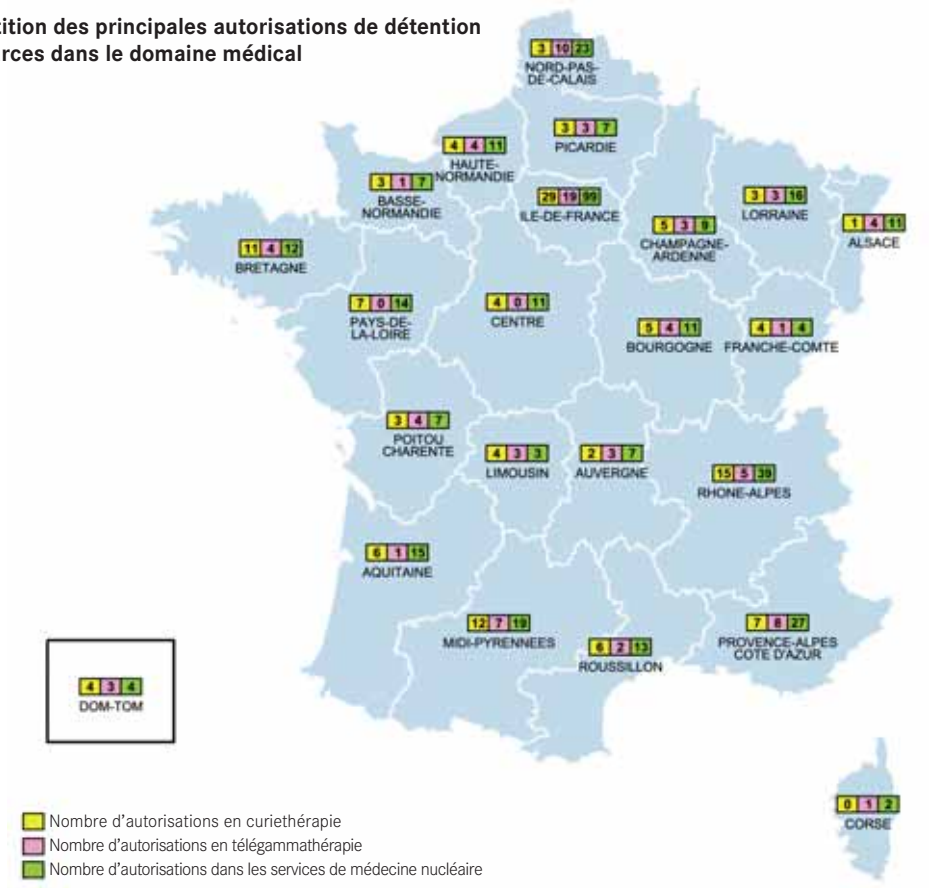
À la fin des années 1950, leur fabrication, leur production et leur commercialisation ont été interdites en raison des dangers de leur rayonnement radioactif. Jusqu'à cette date, le radium a fait l'objet d'un grand nombre d'applications, dont certaines paraissent surprenantes aujourd'hui. Ce sont les objets au radium à usage médical (aiguilles et applicateurs utilisés dans le traitement des tumeurs) qui constituent la majeure partie potentiellement récupérable.

Le Service central de protection contre les rayonnements ionisants (S.C.P.R.I.) en 1985, puis l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (O.P.R.I.) avec l'Andra en 1999 et 2000, ont récolté plus de 3 400 objets au radium auprès des cabinets de radiologie, des cliniques, des centres anticancéreux et surtout auprès de particuliers, correspondant à environ 1,3 TBq de radium. Près de 2 800 objets au radium à usage médical ont été recueillis lors de la première campagne, et 500 lors de la deuxième, auxquels s'ajoutent quelques dizaines d'objets récupérés depuis lors.

Autorisations de détention des sources

Au 31 août 2008, les autorisations de détention de sources scellées ou non scellées délivrées dans le domaine médical (voir carte page suivante), correspondaient à 680 dossiers. Il faut noter que plusieurs autorisations de détention peuvent être données à un même établissement et qu'une même autorisation peut concerner plusieurs sources de même nature (les 680 dossiers d'autorisations de détention correspondent ainsi à 4 700 sources).

Répartition des principales autorisations de détention de sources dans le domaine médical



Nota :

Au total, 35 369 sources sont enregistrées en possession d'utilisateurs en 2008 (cette augmentation est liée à la prise en compte des sources impactées par les modifications réglementaires de 2002 et à l'augmentation des sources utilisées dans le cadre des diagnostics plomb pour les expertises immobilières).

4.7.2 Déchets produits

L'utilisation en médecine nucléaire de radioéléments en sources non scellées produit des déchets et des effluents radioactifs. Les flacons usagés ayant reçu des liquides actifs et des petits matériels de laboratoire (tubes, verrerie, gants, seringues, aiguilles, coton souillé) constituent les déchets solides.

Les effluents liquides proviennent des préparations diverses (eau de rinçage de matériels, produits scintillants utilisés pour le comptage de certains radioéléments...).

Les sources scellées utilisées en radiothérapie, d'activités élevées et de période de plusieurs années retournent vers leurs fournisseurs après exploitation.

Dans les unités productrices, les déchets solides sont groupés dans des conteneurs spécifiques pour contrer tout risque radioactif, infectieux et/ou chimique. Les déchets à vie très courte y sont placés en attente de leur élimination, après décroissance de la radioactivité sur place. Ils s'éli-

minent ensuite dans les circuits classiques de déchets hospitaliers après les mesures finales de la radioactivité résiduelle. Les déchets qui ne sont pas gérés de cette manière, et qui nécessitent d'être envoyés vers un stockage de l'Andra, représentent un volume faible qui est comptabilisé par l'Inventaire avec les déchets des petits producteurs de la Recherche (voir sous-chapitre précédent).
Les effluents aqueux, provenant des laboratoires et des sanitaires des chambres réservées à l'hospitalisation de patients ayant reçu des doses d'iode 131, sont collectés dans des cuves et entreposés sur place, pour décroissance.
Les effluents non aqueux marqués (liquides scintillants) sont rassemblés à part et éliminés par l'Andra, qui les dirige vers l'incinérateur de CENTRACO (voir sous-chapitre 4.4).

4.7.3 Scénario pour 2008-2030

La médecine utilise des sources non scellées similaires à celles utilisées par les établissements de recherche (voir sous-chapitre 4.6) et des sources scellées gérées par leurs fabricants. Les productions de déchets de cette activité ont donc été réparties au sein des sous-chapitres correspondants. Le scénario retenu présuppose la continuité des pratiques actuelles.

Nota :

Le stock des objets au radium à usage médical est supposé stable. En effet, depuis quelques années le nombre de demandes de prise en charge est stable et faible devant le stock cumulé.

activités industrielles diverses : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers

4.8

Ces activités englobent la fabrication et l'utilisation des sources radioactives (scellées ou non scellées) dans l'industrie, hors du domaine médical déjà traité dans les sous-chapitres précédents. Elles concernent également la fabrication et l'utilisation d'objets divers utilisant des produits radioactifs (paratonnerres, détecteurs de fumée...) ou les propriétés de la radioactivité (contrôle de conformité de source, maintenance...).

Carte des établissements d'activités industrielles "diverses" : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers

Détecteur de fumée

Entreposage de sources scellées usées

Les sources scellées, généralement associées à des appareils de mesure, ne présentent pas de risque de dissémination radioactive en usage normal. L'irradiation est donc le seul risque auquel elles peuvent exposer. Au-delà d'un certain niveau d'activité, leur distribution exige une autorisation administrative qui permet de les gérer individuellement jusqu'à leur retour vers leur distributeur, puis vers le fabricant.

En revanche, les sources radioactives non scellées sont directement incorporées à la matière. Elles présentent à la fois un risque d'irradiation (comme toute source) et un risque de contamination par contact, ingestion ou inhalation. Servant principalement pour le marquage des molécules et comme traceur radioactif (voir sous-chapitres 4.6 et 4.7), elles s'utilisent en fonction des besoins et ne font pas en général l'objet de récupération. Au-delà d'un certain niveau de radioactivité, leur détention et leur utilisation réclament aussi une autorisation administrative.
Les activités décrites dans ce sous-chapitre concernent essentiellement des sources scellées.

4.8.1 Description des activités et des sites

La fabrication et l'utilisation de sources

L'utilisation de radioéléments artificiels pour les « contrôles non destructifs », c'est-à-dire pour caractériser des matériaux sans porter atteinte à leur intégrité, est courante dans le secteur industriel. Elle trouve des applications dans :

le contrôle de soudure par gammagraphie, véritable radiographie du métal (sources d'iridium 192 ou de cobalt 60) ;

la mesure de densité, de niveau ou d'épaisseur de matériaux, comme le papier, le tissu, le plastique, ou le métal de faible épaisseur au moyen de jauges constituées d'un bloc émetteur au krypton 85, au césium 137, à l'américium 241, au cobalt 60 ou au prométhéum 147 ainsi que d'un bloc détecteur de rayonnements ;

la détection des molécules et leur dosage par analyse dans les chromatographes en phase gazeuse, par utilisation de sources de nickel 63 ou de tritium pour des produits comme les pesticides, les explosifs ou les drogues. Le cadmium 109 et le cobalt 57 sont également utilisés pour la détection de produits toxiques comme le plomb dans les peintures ;

le pilotage des réacteurs électrogènes d'EDF. Le pilotage et la surveillance du fonctionnement des réacteurs électronucléaires nécessitent l'emploi de sources scellées dans :

- **les systèmes de radioprotection** par l'utilisation de sources de césium 137, strontium 90, radium 226, américium 241 dont les activités sont inférieures à 3,7 MBq ;
- **les systèmes de mesure de puissance** par l'utilisation de sources d'américium-béryllium dont les activités sont inférieures à 150 GBq ;

l'irradiation industrielle

Elle utilise les effets biologiques des rayonnements sur la matière vivante pour :

- **la stérilisation de matériels médicaux et de produits pharmaceutiques ;**
- **la conservation de certains produits alimentaires** dont elle détruit les microorganismes et les parasites ;
- **l'inhibition de la germination** (pommes de terre, par exemple) par irradiation à faible dose ;
- **le déparasitage des céréales et des fruits ;**
- **le ralentissement des processus physiologiques de décomposition** par irradiation à faible dose ;

- **la prolongation du temps de conservation des aliments** par irradiation à dose moyenne ;
- **la stérilisation industrielle des viandes, des épices, et des aliments préparés** par irradiation à forte dose.

Il existe en France plusieurs irradiateurs industriels utilisant des sources scellées (cobalt 60 ou césium 137) de très forte activité (800 TBq). Compte tenu de l'activité utilisée, ces installations sont classées comme Installations nucléaires de base (INB).

La commercialisation des sources scellées utilisées dans le cadre de ces applications industrielles relève du secteur concurrentiel. Au 31 décembre 2007, 196 autorisations de distribuer des sources scellées et non scellées, à usage industriel, avaient été délivrées par les autorités compétentes (certains distributeurs pouvant disposer d'une autorisation industrielle et d'une autorisation médicale) parmi ceux-ci figuraient une vingtaine de distributeurs étrangers basés dans l'Union européenne.

Le retour vers le fournisseur, puis vers le fabricant, des sources scellées usagées est une obligation réglementaire à laquelle s'engage l'utilisateur au moment de l'achat.

Les principaux distributeurs de sources scellées se sont regroupés en une association professionnelle de cautionnement mutuel, afin de garantir la recherche et le financement d'une filière de reprise des sources usagées en cas de défaillance de l'un d'entre eux.

Au 31 août 2008, près de 6 178 autorisations de détention de sources scellées ou non scellées étaient délivrées dans le secteur industriel (voir carte page ci-contre) dont environ 5 750 pour des sources scellées (plusieurs autorisations de détention peuvent être données à un même établissement, une même autorisation peut concerner plusieurs sources de même nature ou non).

À mi-2008, les autorisations de détention du secteur industriel correspondaient à près de 26 000 sources (d'activité initiale supérieure au seuil d'exemption).

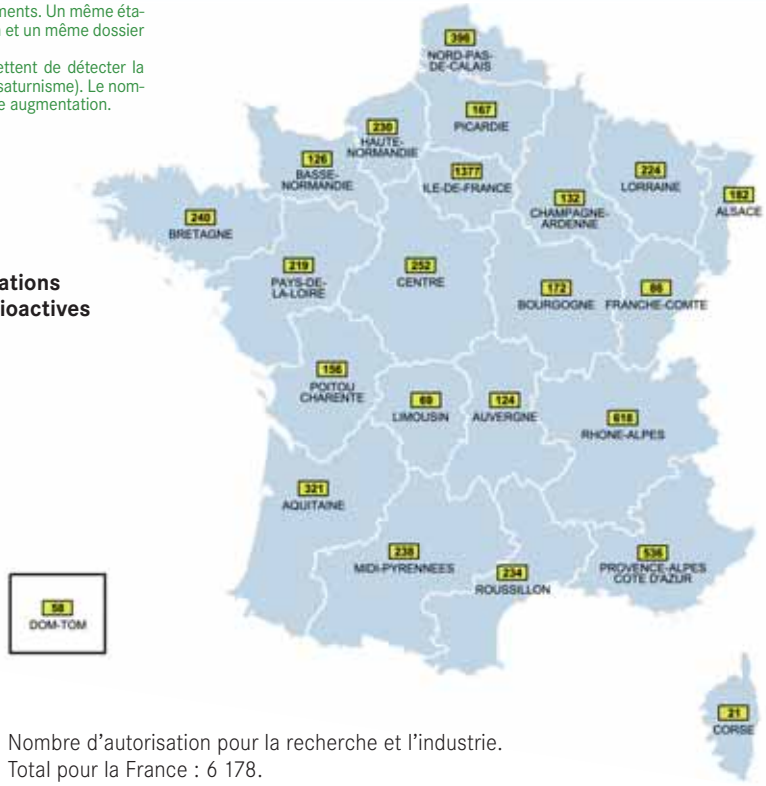
Tableau 4.24 : principales utilisations des sources radioactives scellées

	Nombre de dossiers recensés mi-2008*
Gammagraphie	163
Irradiation	73
Mesure de densité et pesage	360
Mesure d'épaisseur	188
Mesure d'empoussièrement	75
Mesure d'épaisseur de couches minces	21
Mesure de grammage	228
Mesure de niveau	382
Mesure d'humidité densité	270
Diagraphie	11
Élimination d'électricité statique	32
Détecteurs de fumée	3
Mise en œuvre de sources de neutrons	43
Analyse	99
Étalonnage	1 001
Enseignement	140
Recherche	25
Chromatographie	462
Détecteurs à capture d'électrons	59
Analyse par fluorescence X**	3 039

Source : IRSN 2008

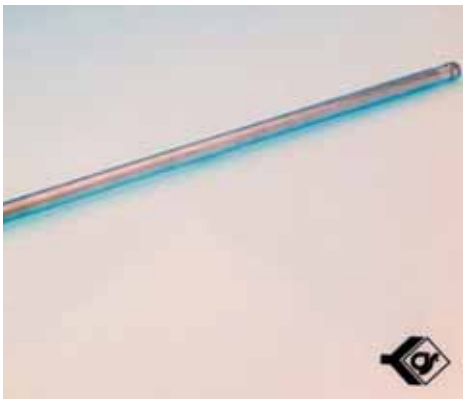
* Il s'agit de dossiers d'autorisation et non d'établissements. Un même établissement peut avoir plusieurs dossiers d'autorisation et un même dossier peut regrouper plusieurs utilisations différentes.
** Les appareils d'analyse par fluorescence X permettent de détecter la présence de plomb dans les peintures (lutte contre le saturnisme). Le nombre de dossiers recensés dans ce domaine est en forte augmentation.

Répartition géographique des autorisations à détenir et à utiliser des sources radioactives scellées ou non scellées (recherche et industrie)



Nombre d'autorisation pour la recherche et l'industrie.
Total pour la France : 6 178.

Un même établissement peut détenir plusieurs autorisations (source : IRSN 2008)



Sources pour irradiateurs industriels

Sources pour gammagraphie

À ceci s'ajoutent 434 dossiers concernant la détention d'appareils électriques de rayonnement ionisant (principalement générateurs X), ne comportant pas de sources radioactives.

L'Inventaire et le suivi des sources scellées

La traçabilité des sources scellées distribuées et le suivi de leur mouvement font l'objet d'une surveillance particulière.
Depuis 1952 (date de création de la Commission interministérielle des radioéléments artificiels), toute personne souhaitant détenir, utiliser ou céder des sources radioactives doit y être autorisée par l'Administration. L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) enregistre les mouvements de ces sources en France et tient à jour leur inventaire. Il permet de repérer la source, de connaître son radioélément, sa radioactivité à une date donnée, la date d'autorisation de mise en utilisation, le nom de l'organisme utilisateur et de la technique à laquelle elle participe. À chaque instant, on peut donc connaître le nombre et l'utilisation de chaque source scellée.
Aussi rigoureux soit-il, cet inventaire exclut les radioéléments artificiels en dessous d'un certain seuil d'activité, à condition que l'utilisateur n'ait pas besoin d'autorisation de détention pour les sources radioactives concernées (article R.1333-45 du code de la santé publique).
Depuis le décret n°2002-460 du 4 avril 2002, les sources comportant des radioéléments naturels, dont le radium et le thorium, sont soumis au régime de droit commun.
L'Inventaire national n'est pas en mesure de prendre en compte les sources non identifiées/répertoriées (il s'agit souvent de petites sources de calibrage et d'étalonnage des appareils de mesure).

Les principaux fabricants et lieux d'entreposage en France

Le Laboratoire étalons d'activités (LEA CERCA)

Implantée sur le site de Pierrelatte, cette entreprise est la seule à produire des sources scellées en France.
Appartenant aux groupes AREVA et SIEMENS, elle occupe une position de monopole depuis l'arrêt de production de CIS-Bio International à Saclay. Le LEA CERCA fabrique quelques 4 000 sources par an, tous types confondus.
Les produits de base nécessaires à la réalisation des sources étalons sont des solutions de forte activité, ou des produits solides ou gazeux, élaborés dans des réacteurs ou des accélérateurs de particules.

La société CIS-Bio International

Devenue filiale de Schering SA, la société CIS-Bio International dispose de l'irradiateur POSÉIDON, qui regroupe des dispositifs d'irradiation pour les produits biomédicaux et industriels. Cette entreprise a évolué vers des produits de substitution aux radionucléides pour des applications diagnostiques et thérapeutiques, et pour l'industrie pharmaceutique. Elle continue de fournir des produits dits radiopharmaceutiques, de période courte (molécules marquées par un radioélément). CIS-Bio International entrepose, sur le site de Saclay, des sources scellées usagées pour son propre compte et pour le compte du CEA.

L'INB 72 du CEA à Saclay

Cette installation abrite environ 155 000 sources de toutes natures, correspondant à la récupération de sources scellées reprises par le CEA, au titre de son obligation de retour vers le fournisseur ou dans le cadre d'un service public offert pour des sources orphelines, sur réquisition des pouvoirs publics.

Les cas particuliers d'objets assimilés à des sources scellées usées

Les paratonnerres

Les paratonnerres à « tête » radioactive ne sont plus fabriqués depuis 1983 et sont interdits de commercialisation depuis 1987. Les têtes peuvent contenir, selon les modèles, entre 3 et 75 MBq de radium 226, et de 11 à 33 MBq d'américium 241.

On estime que 50 000 paratonnerres radioactifs ont été commercialisés en France. Leur suppression n'est pas obligatoire. Mais chaque fois que l'un d'entre eux est démonté, il doit être évacué en tant que déchet radioactif. Ces têtes de paratonnerre sont regroupées en entreposage temporaire par des entreprises professionnelles. L'Andra transmet aux détenteurs de paratonnerre, une liste (non exhaustive) d'entreprises de ce type (voir tableau 4.25). Il faut noter que l'activité de regroupement de paratonnerres radioactifs nécessite une autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). La plupart de ces sociétés, devrait d'ici fin 2009, disposer de cette autorisation.

Paratonnerre au radium

L'Andra collecte environ 500 à 600 têtes de paratonnerres par an pour entreposage en attente de filière d'élimination.

Compte tenu de leur radioactivité, les paratonnerres au radium 226 sont dirigés vers le centre CEA de Cadarache pour y être compactés et conditionnés dans des fûts de 870 litres en attente de stockage.

Les paratonnerres à l'américium 241 sont conditionnés puis entreposés sur une plate-forme spécifique, sur le site de SOCATRI à Bollène (84), que l'Andra est autorisée à utiliser depuis août 2003. Ces paratonnerres sont placés dans des fûts de 200 litres.

Globalement, l'Andra a récupéré un peu plus de 7 700 têtes de paratonnerres dont environ les deux tiers sont composés de radium 226 et un tiers d'américium 241.

Les détecteurs de fumée

Le modèle le plus répandu utilise les propriétés radioactives des petites sources d'américium 241. La source ionise l'air contenu dans l'appareil. Lorsque de la fumée y pénètre, la conductivité électrique diminue, ce qui déclenche l'alarme. Leur stock, difficile à évaluer, est estimé entre 6 et 8 millions d'unités installées, correspondant à une radioactivité globale de quelques centaines de GBq.

Tableau 4.25 : liste des entreprises assurant le regroupement des paratonnerres

N° département	Site (Établissement)
33	EYSINES (INDELEC)
35	RENNES (INDELEC)
59	DOUAI (INDELEC)
67	MUNDOLSHEIM (PROTIBAT)
67	STRASBOURG (SAP)
69	MORNANT (INDELEC SUD-EST)
74	ANNECY (S.A.E. Société Annecienne Équipement)
77	OZOIR-LA-FERRIÈRE (FRANKLIN France)
94	CHENNEVIÈRES/Marne (DUVAL MESSIEN)
95	PERSAN (ABB HELITA)

Source : Andra 2008

L'activité de ces sources est faible (4 kBq pour les plus récents) et réglementée. Interdits pour un usage domestique, ces détecteurs s'emploient souvent dans les immeubles de bureaux ou les lieux publics. Les pouvoirs publics envisagent l'arrêt de leur utilisation.

Les plaques radio luminescentes au radium 226 et au tritium

Les peintures au radium ont été utilisées jusque dans les années 1960 pour des usages liés à la vision nocturne (boussoles, signalisations, cadrans et aiguilles lumineux de montres, réveils et horloges...). Ces objets ne sont plus fabriqués.

Le radium a été en partie remplacé par le tritium, radioélément à période plus courte et dont la toxicité est bien moindre, lui-même remplacé en grande partie désormais par des peintures photoluminescentes (non radioactives) lorsque leurs caractéristiques le permettent.

Autres objets au radium

Outre les objets à usage médical, mentionnés au chapitre 4.7, l'utilisation du radium à des fins « fantaisistes » a conduit, jusqu'à la fin des années 30, à la fabrication d'objets divers (fontaines au radium, bougies d'automobile...) qui sont aujourd'hui progressivement collectés et entreposés au CEA.

Autres activités industrielles regroupées dans cette catégorie

Outre les activités décrites précédemment, l'Inventaire national regroupe dans cette catégorie des industries qui utilisent les propriétés de la radioactivité, souvent artificielle.

On peut citer :

- les fabricants de radiopharmaceutiques (Cyclopharma...) ;
- les fabricants de réactifs pharmaceutiques (Immunotech, Ipsen Pharma Biotech, Diasorin...) ;
- les établissements de maintenance, contrôle de conformité de sources, de décontamination de matériel (CETIC, CERAP, Intercontrôle, Saphymo, SGS Multilab, Elta...) ;
- les zones de transit de sources de fabricants étrangers (Healthcare-ex. Amersham, par exemple).

4.8.2 Déchets produits

Sources en fin de vie

Leur durée de vie limitée rend ces sources inutilisables au bout de quelques mois ou quelques années, en fonction de la période du radioélément considéré. Elles ne sont pas considérées systématiquement comme des déchets ultimes.
Auparavant, le décret 2002-460 du 4 avril 2002, imposait à l'utilisateur de sources scellées de faire reprendre les sources périmées ou en fin d'utilisation au plus tard au bout de dix ans, sauf dérogation accordée par l'ASN.
Aujourd'hui, l'article R.1333-52 du code de la santé publique, introduit par le décret 2007-1582 du 7 novembre 2007, précise qu'à titre dérogatoire cette obligation n'est pas applicable lorsque les caractéristiques des sources permettent une décroissance sur le lieu d'utilisation (notamment pour les faibles activités et les périodes courtes).
Par ailleurs, l'article R.4452-12 du code du travail impose des contrôles techniques périodiques de radioprotection des sources utilisées.
Bon nombre de sources repartent à l'étranger, vers leurs fournisseurs. Les autres sont entreposées dans des locaux adaptés. Certaines pourraient être stockées sur le Centre de stockage FMA de l'Aube dans la mesure où elles sont compatibles avec la sûreté du Centre. À ce titre, un lot de 995 unités a été accepté, correspondant à une activité suffisamment faible et une période inférieure à 5 ans.
L'obligation réglementaire de retour des sources scellées pose parfois problème : certains fournisseurs ou fabricants peuvent disparaître ou ne pas assurer leur obligation de reprise. Des solutions temporaires d'entreposage sont alors trouvées pour ces sources orphelines, au CEA.

Les déchets de fabrication des sources

Les déchets engendrés par la production du Laboratoire étalons d'activités (LEA CERCA) entrent pour la plupart dans des filières d'élimination existantes. Il s'agit des déchets des chaînes de fabrication de l'installation, contaminés par la mise en œuvre de solutions-mères très actives, et par le transfert ou leur incorporation à des matières inertes variées. (voir tableaux 4.26 et 4.27)

Tableau 4.26 : déchets de fabrication de sources au LEA CERCA en 2007

	Nature	Flux annuel	Filière de gestion
Solides	Verrerie Plomb Résine	60 kg 60 kg 20 kg	Centre de stockage FMA de l'Aube
Solides Combustibles	Papier plastique Métal Verrerie	350 kg 4 kg 1,5 kg	Centre de stockage FMA de l'Aube
Liquides	Eau de lavage Solution active Liquide scintillant Liquide organique Huiles usagées Acétone contaminée	2 000 litres 5 litres 6 litres 1 litre 2 litres 1 litre	Centre de stockage FMA de l'Aube
Métal (lié à la maintenance)	Métal	100 kg	Fusion puis Centre de stockage FMA de l'Aube

Source : LEA CERCA 2008

Tableau 4.27 : déchets produits par des sources non conformes ou périmées au LEA CERCA en 2007

Type de déchets	Quantité (en kg)	Filière de gestion
Résines et plastique	510	Incinération puis Centre de stockage FMA de l'Aube
Disque d'acier inox et de platine	100	Fusion puis Centre de stockage FMA de l'Aube
Verre et résine	15	Centre de stockage FMA de l'Aube
Anneaux en duralinox (résidus de descellement de sources)	150	Centre de stockage FMA de l'Aube
Résines et monazite	50	Centre de stockage FMA de l'Aube

Source : LEA CERCA 2008

4.8.3 Scénario pour la période 2008-2030

Le scénario retenu présuppose une diminution du marché français des sources à usage industriel. Plus spécifiquement :
« EDF prévoit qu'environ 15 000 sources de toutes catégories ont été ou seront utilisées durant la vie de ses sites industriels jusqu'en 2030. L'activité concernée serait de l'ordre de 24 TBq ».
Le nombre de sources fabriquées et commercialisées par le **CEA** pour les besoins d'utilisateurs hors de ses centres, et qu'il faudra reprendre, est estimé à moins de 100 000.

Cis-Bio prévoit la récupération de ses sources jusque vers 2018, avec un pic de retour vers 2010/2012. Pour ce faire, un GIP (Groupement d'intérêt publique) a été récemment créé entre le CEA et CIS-Bio dans le cadre de la reprise des sources usagées encore en circulation. Leur objectif est de collecter ces sources dans un délai de 10 ans.
La croissance de la production du **LEA CERCA**, de vocation internationale, devrait être régulière. Le LEA CERCA s'est équipé de moyens de démantèlement des sources scellées récupérées en fin de vie, de manière à optimiser les filières d'évacuation vers l'Andra, ou de recyclage partiel, voire total, lorsque cela est possible.

La production de détecteurs de fumée à l'américium diminue.
Il existe en effet d'autres solutions techniques, ne comportant pas de radioactivité (détecteur de fumée optique). Par ailleurs, la radioactivité des détecteurs actuels est plus faible que dans le passé. Le GESI, syndicat qui représente les professionnels du secteur, envisage de résorber progressivement le parc sur une dizaine d'années.
Dans cette hypothèse, l'ensemble des détecteurs récupérés en vue d'un traitement pour leur gestion à long terme correspondrait à 6 à 8 millions d'unités (soit l'équivalent du parc actuel, en comptant les retours de détecteurs usagés vers les fabricants étrangers).

La collecte des paratonnerres par l'Andra se poursuit au rythme d'environ 500 à 600 têtes par an. Ce flux annuel correspond à du radium pour les deux tiers et de l'américium pour le dernier tiers.

4.8.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.28 présente les stocks de déchets du secteur d'activité « Activités industrielles diverses » à fin 2007, fin 2020 et fin 2030.

Tableau 4.28 : stocks de déchets à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 en m³ équivalent conditionné

	2007	2020	2030
MA-VL	126	126	126
FA-VL	121	245	245
FMA-VC	1 dont 1 déjà stocké	1	1
TFA	287 dont 244 déjà stockés	2 237	3 737

Les 126 m³ de déchets MA-VL correspondent pour 125 m³ aux anciens colis de sources dont les caractéristiques ne permettaient pas le stockage au Centre de stockage de la Manche, pour 1 m³ à des déchets d'exploitation de Cis-Bio International.
Environ 1 700 000 sources usées (dont 1 150 000 au GESI et 155 000 au CEA, dans l'INB 72) ont été recensées au 31 décembre 2007. Il est rappelé que pour cet Inventaire national, aucun volume équivalent conditionné n'est affecté aux sources (hors paratonnerres). Les résultats de l'étude des procédés permettant le stockage des sources dans les centres existants ou en projet, confiée à l'Agence nationale pour la gestion des déchets

radioactifs (voir chapitre 3 encadré 3.1) permettront, pour le prochain Inventaire national, de répartir ces sources en fonction des filières de gestion identifiées pour leur prise en charge et d'évaluer leur volume équivalent conditionné, qui restera faible en regard de celui de la plupart des familles de déchets inventoriées.

Le stock de sources scellées usées du CEA comporte en particulier :

- des sources de haute activité à vie moyenne comme le cobalt 60, le strontium 90 ou le césium 137 dont les 4 183 objets représentent une activité totale d'environ 20 000 TBq en 2007 (voir tableau 4.29) ;

Tableau 4.29 : sources scellées usées de haute activité à vie courte et moyenne du CEA

Radionucléide	Nombre d'objets	Activité au 31/12/2007 (en TBq)
^{60}Co	783	8 000
^{137}Cs	3 384	7 700
^{90}Sr	6	1 400
Générateurs isotopiques	10	300

Source : CEA 2008

- des sources usées à vie longue, de faible activité. Elles sont évaluées à 276 000 objets pour une activité estimée à environ 25 TBq. Le tableau 4.30 donne des exemples de sources usées à vie longue appartenant au CEA.

Tableau 4.30 : exemples de sources scellées usées à vie longue du CEA

Radionucléide	Nombre de sources 2007	Activité totale estimée (en 2007)
^{226}Ra	2 592	150 GBq
^{227}Ac-Be	14	130 MBq
^{235}U	392	430 MBq
^{238}U	741	1,07 GBq
^{238}Pu	56 621	5,18 TBq
^{239}Pu	1 997	0,89 TBq
^{242}Pu	78	3,43 GBq
^{241}Am	80 497 198 793	0,4 TBq 0,69 TBq
^{244}Cm	1 162	48 GBq

Source : CEA 2008

4.8.5 Déchets au titre du démantèlement après 2030

Pour cette activité, seul le démontage des installations de Cis-Bio et du LEA pourrait engendrer des déchets radioactifs. Ils ne représenteraient qu'une fraction très faible, au regard des déchets de démantèlement des installations du parc électronucléaire ou du CEA, et n'ont pas été évalués spécifiquement.

4.8.6 Matières radioactives

Une des solutions envisagées pour l'élimination définitive de certaines sources scellées en fin de vie consiste à les « dénaturer », c'est-à-dire notamment à récupérer et recycler les matières actives qu'elles recèlent. Un petit nombre de sources est concerné. Cela pose la question de l'existence d'installations particulières aptes à réaliser cette tâche.
Actuellement, seule l'installation ATALANTE à Marcoule (CEA) serait susceptible de répondre à ce besoin.
Les installations du CEA/DAM à Valduc pourraient aussi récupérer du tritium.

4.9 industries non nucléaires utilisant des matériaux naturellement radioactifs

Des activités non nucléaires liées à la chimie, à la métallurgie ou à la production d'énergie, manipulent des radionucléides contenus dans certaines matières premières minérales naturelles. Elles peuvent ainsi être à l'origine de déchets radioactifs, essentiellement de faible ou très faible activité. Dans la mesure où plusieurs de ces activités, conduites dans le passé, ont occasionné des pollutions radioactives, ce sous-chapitre introduit également celui consacré aux sites pollués (chapitre 5).

Carte des principaux sites (anciens et actuels) de l'industrie non nucléaire utilisant des matériaux naturellement radioactifs ou des radionucléides

Usine Rhodia – Entreposage de fûts de déchets radifères

4.9.1 Description des activités

Les activités

Certaines industries manipulent uniquement de la radioactivité naturelle, la nature des matériaux utilisés ou le procédé employé conduisant parfois à concentrer la radioactivité. Les déchets produits présentent alors des niveaux de radioactivité suffisamment élevés pour imposer une gestion particulière. La réglementation prévoit pour ces cas une étude d'impact potentiel pour définir la filière adéquate, classique ou spécifique.
La totalité des industries susceptibles de produire de tels déchets radioactifs naturels est difficile à déterminer. L'exploitation des propriétés radioactives des matériaux naturels utilisés n'est pas toujours l'objectif de l'industriel. Le procédé utilisé peut, dans certains cas, employer des matières premières minérales plus ou moins riches en radionucléides naturels et, éventuellement, indirectement concentrer la radioactivité dans les déchets.
Une typologie des industries susceptibles de produire actuellement des déchets naturellement radioactifs a été établie. Cette liste s'appuie sur le retour d'expérience connu des pratiques industrielles présentes ou passées.

Les activités sont les suivantes :

les installations industrielles d'extraction et de traitement du pétrole et du gaz naturel
Selon la nature des terrains prospectés, les sables, les boues, ou certains outils, peuvent être contaminés par des produits de filiation de l'uranium contenu naturellement dans les sols ;

les installations industrielles de combustion du charbon
Dans certaines circonstances, les cendres et scories issues de la combustion du charbon concentrent la radioactivité naturellement présente dans le minerai originel (uranium, thorium et leurs descendants) ;

les industries de fonderie de métaux, notamment celles employant des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium
Les minerais concernés contiennent parfois des éléments radioactifs qui se trouvent concentrés dans les résidus ; ces éléments radioactifs sont de même nature chimique que le métal extrait (thorium, bismuth, niobium radioactifs mêlés au métal sous forme stable), ou des éléments chimiques différents ;

les installations de fonderie mettant en œuvre des sables de monazite ;

les industries de fabrication d'objets ou de pièces incorporant du thorium ;

les industries de production et d'utilisation de zircon et de baddeleyite, notamment dans les industries de céramiques réfractaires et abrasives ;

les industries d'extraction et de traitement des terres rares à partir de minéraux naturels dont la monazite.

Les quatre activités industrielles précédentes manipulent du thorium, ou ses descendants. Les radionucléides peuvent simplement être transférés dans les résidus, en totalité ou en partie, ou être concentrés par des phénomènes de précipitation liés aux process industriels mis en œuvre.

l'industrie des phosphates, notamment la fabrication d'acide phosphorique et la production d'engrais agricole

Les procédés industriels conduisent à la production de rejets de déchets solides (phosphogypse), ainsi qu'à des ferrailles contaminées lors du démantèlement de certaines parties des installations ;

les industries des pigments de coloration, notamment celles utilisant de l'oxyde de titane

À partir de minerais naturels d'ilménites et de rutiles (minéraux riches en titane), l'industrie chimique extrait des pigments de coloration pour les peintures (dioxyde de titane). Les activités initiales en thorium et en uranium peuvent être concentrées dans les résidus.

Cette liste ne signifie pas que les établissements industriels qui s'y rattachent produisent, ou ont produit, systématiquement des déchets radioactifs. Réciproquement, il est possible qu'un secteur industriel non répertorié dans cette liste produise ponctuellement un déchet qui puisse être considéré comme radioactif. Les industries concernées devront à terme remettre à l'Administration une étude sur leurs déchets, précisant les filières de gestion.

4.9.2 Déchets produits

Diverses activités sont ou ont été à l'origine de la production de déchets radioactifs, essentiellement de très faible activité, nécessitant une prise en charge spécifique.

Les activités industrielles concernées, progressivement entrées dans le champ des recensements de l'Andra et actuellement identifiées, relèvent des activités suivantes[3] :

- extraction et mise en œuvre des propriétés du radium (aujourd'hui arrêtées en France) ;
- mise en œuvre des propriétés du thorium, y compris pour la préparation et l'extraction des terres rares ;
- production d'engrais et/ou d'acide phosphorique ;
- fabrication d'oxyde de titane pour des pigments de peinture ;
- extraction et traitement du pétrole et du gaz naturel.

Il s'agit essentiellement d'usines et d'ateliers dont les productions sont aujourd'hui arrêtées, à l'exception des neuf sites toujours en activité industrielle : La Rochelle, Le Pontet, Jarrie, Grand-Quevilly, Thann, Lacq, Saint-Faust, Monein-Pont d'As et Le Havre. Dans certains cas, les matières ont été retirées et il n'y a plus de déchets sur place, mais le site est considéré comme pollué et il est prévu d'effectuer des opérations d'assainissement qui pourraient engendrer des déchets additionnels (voir chapitre 5).

4.9.3 Scénario pour la période 2008-2030

Les industries en activité

Les pouvoirs publics ayant défini les catégories d'activités professionnelles potentiellement concernées par la manipulation de radioactivité d'origine naturelle, l'identification et l'examen des cas à considérer doivent être poursuivis plus systématiquement. La dispersion géographique des possibles producteurs de tels déchets et l'évolution de la réglementation, qui pourront

3 Elles ne couvrent pas la totalité des industries potentiellement productrices de déchets à radioactivité naturelle, renforcée ou non, décrites précédemment.

amener à en identifier davantage, rendent difficile le travail de prévision.
En ce qui concerne les silicates qu'engendre la production d'oxyde de zirconium de l'usine du Pontet dans le Vaucluse, ils sont évacués vers une filière classique, compte tenu de l'étude d'impact réalisée (voir paragraphe 4.9.1).
On a pu évaluer la production future de déchets radioactifs, en l'occurrence FA-VL, uniquement pour les installations de Rhodia et de Cezus, deux grands industriels du secteur.
Dans le domaine de l'**extraction des terres rares**, l'usine **Rhodia** à La Rochelle continuera à utiliser des matières premières issues de minerais qui ont été traités avant leur importation en France, pour en abaisser la radioactivité. Les « matière en suspension » (MES) qui en résultent sont considérées par l'industriel comme des matières radioactives valorisables (voir paragraphe 4.9.5). La quantité de déchets ultimes de type radifères FA-VL qui sera obtenue après traitement est à déterminer. Par ailleurs, RHODIA étudie actuellement le traitement des hydroxydes bruts de thorium (thorium séparé des terres rares dans la chaine de procédé en voie chlorure), considérés comme matières radioactives valorisables car contenant environ 10 % de thorium. Les quantités de déchets qui en résulteront sont évaluées à environ 9 000 m^3.
Dans le domaine de la **fabrication d'éponges de zirconium** pour des tubes de l'électronucléaire, l'usine **Cezus** à Jarrie devrait produire un flux de déchets radifères estimé à environ 130 m^3 par an en moyenne sur la période 2008-2030.
En dehors de ces deux usines, l'estimation des quantités de déchets TFA et de déchets FA-VL (de type radifère) est difficilement réalisable.

Usine Rhodia – Déchets FA-VL

Tableau 4.31 : sites produisant ou ayant produit des déchets à radioactivité naturelle, renforcée ou non

Production industrielle	Matière première du nucléide mis en œuvre	Nom du site*		Exploitant
		Production arrêtée	Production en cours	
Extraction, raffinage et/ou conditionnement de radium pour la médecine et la parapharmacie	Minerai d'uranium	Ile-Saint-Denis (93) Nogent-sur-Marne (94) Gif-sur-Yvette (91) Asnières (92) Aubervilliers (93) Arcueil (I. du radium) (94) Paris 8e et 10e		Usine Rothschild Usine A. de l'Isle Usine SNR Privé AFTRP Universités Privés
Application de peinture lumineuse pour la vision nocturne	Radium 226 et/ou tritium	St-Nicolas-d'Aliermont (76) Wintzenheim (68) Beauchamp (95) Colombes (92) Paris 15e		Usine Bayard SPW Lumina Privé Privé
Préparation et/ou extraction des terres rares	Sables à monazites ou bastnaësites	Boucau (64) Serquigny (27) Pargny-sur-Saulx (51) Thann (68)		Reno Atofina Orflam-Plast Thann et Mulhouse
Alliage au magnésium thorié	Thorium 232	Arudy (64)	La Rochelle (17)	Rhodia Hondel Messier
Métallurgie du zirconium et/ou de l'uranium	Thorium 232 et/ou uranium 238	Le Pontet (84) Loos (59)	Jarrie (38)	SEPR St-Gobain Cezus Chimie Tessenderlo
Acide phosphorique et engrais agricole	Minerai de phosphate	Ambarès (33) Bordeaux (33) Douvrin (62) Grand-Couronne (91) Le Pontet (84) Les Roches (38) Ottmarsheim (68) Rogerville (76) Sète (34) Tarnos (40) Tarnos (40) Tonnay-Charente (17) Boucau (64)	Gd-Quévilly (76)	Grande Paroisse Hydro Agri Fr Grande Paroisse Grande Paroisse Port A. de Rouen Sud fertilisant Rhône-Poulenc Pec Rhin Hydro Agri Fr Hydro Agri Fr Socadour Satec Secma Reno
Pigments de peinture (oxydes de titanes)	Sables à rutiles et ilménites		Thann (68) Le Havre (76)	Millenium Chemicals
Extraction et traitement du pétrole et du gaz naturel	Eau de gisement issue du socle cristallin		Lacq (64) Saint-Faust (64) Monein-Pont d'As (64)	Total Exploration & Production France
Divers	Générateurs de neutrons	Limeil		Sodern

* Certains de ces sites sont mentionnés au titre des sites pollués dans le chapitre 5.

Usine Cezus

4.9.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.32 présente les stocks de déchets du secteur d'activité « Industries non nucléaires utilisant des matériaux naturellement radioactifs » à fin 2007, fin 2020 et fin 2030.

Tableau 4.32 : stocks de déchets à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 en m^3 équivalent conditionné

	2007	2020	2030
FA-VL	18 159	23 928	35 388
FMA-VC	14 430 dont 14 270 déjà stockés	14 430	14 430
TFA	2 095 dont 639 déjà stockés	2 095	2 095

4.9.5 Matières radioactives

Le thorium est considéré comme une matière radioactive valorisable, dans la mesure où il peut être utilisé dans diverses applications industrielles ; il présente également un potentiel énergétique. Au 31 décembre 2007, environ 7 134 tonnes de thorium étaient entreposées sous forme de nitrate et d'hydroxydes sur le site de l'usine Rhodia à La Rochelle (17).
Les matières en suspension (MES) sont issues du traitement de neutralisation des effluents chimiques produits sur l'usine de Rhodia. En moyenne 25 % d'oxydes de terres rares sont contenus dans ces MES.
Au 31 décembre 2007, 21 672 tonnes de MES, sous-produit du traitement des terres rares étaient entreposées sur le site de l'usine Rhodia.
Concernant les phosphogypses stockés en terrils (> 25 millions de tonnes), des ateliers de valorisation ont traité cette « matière première secondaire » au début des années 1980 pour fabriquer des carreaux de plâtre destinés au bâtiment ; 1/3 de la production de phosphogypse de l'usine de Grand-Quevilly a ainsi été absorbé.

4.10 centres d'études, de production ou d'expérimentation travaillant pour la force de dissuasion

Ce secteur d'activité regroupe les centres de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA, et certaines activités d'AREVA. Elle concerne toutes les activités de la force de dissuasion, ainsi que les installations de la propulsion nucléaire installées à Cadarache.

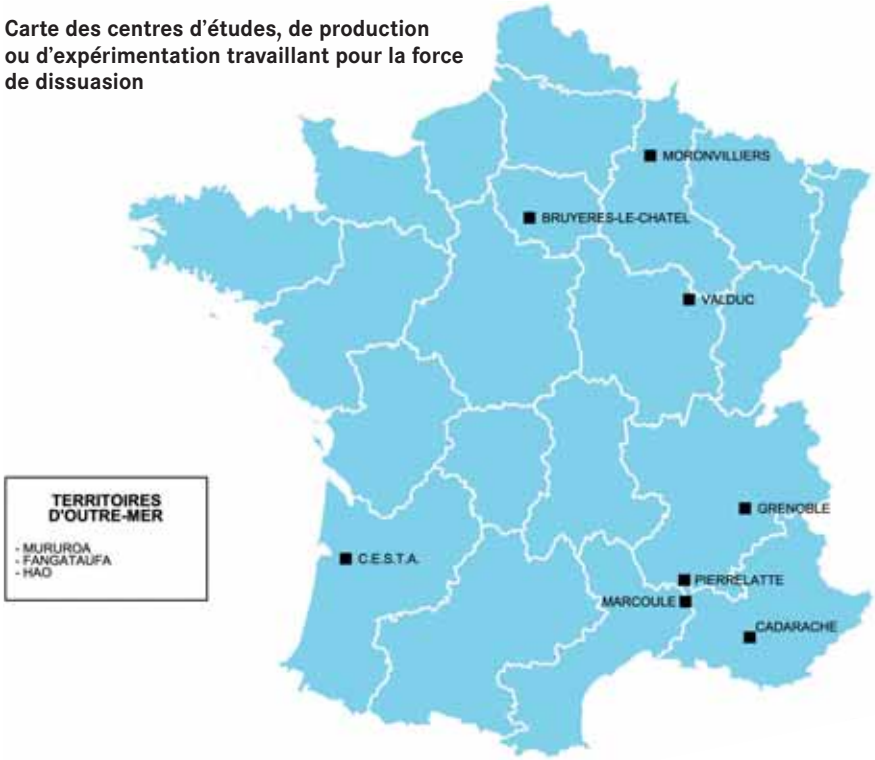
Caissons métalliques en cours de stockage

Entreposage de déchets tritiés à Valduc

Caisson métallique contenant des déchets cimentés

Entrepôt de déchets tritiés à Valduc

Carte des centres d'études, de production ou d'expérimentation travaillant pour la force de dissuasion



4.10.1 Description des activités et des sites

La direction des applications militaires (DAM) du CEA conçoit, fabrique et maintient en condition opérationnelle les charges ou têtes nucléaires du système de défense de la France. Le démantèlement des armes nucléaires retirées lui incombe également. Elle est en outre responsable de la maîtrise d'ouvrage pour la conception et le développement des chaufferies nucléaires des bâtiments de la Marine nationale et pour la réalisation des cœurs équipant les chaufferies embarquées.

Les sites concernés par les activités armes et chaufferies nucléaires se classent sous le régime des Installations nucléaires de bases secrètes (INBS).

Les centres de Bruyères-le-Châtel, et surtout de Valduc, produisent l'essentiel des déchets actuels du secteur. Le paragraphe suivant présente les sites qui produisent, ou ont produit, des déchets radioactifs.

Les installations de la DAM en exploitation

Bruyères-le-Châtel (91)

Depuis sa création, le site a fabriqué les engins nucléaires expérimentés successivement au Sahara et dans le Pacifique entre 1960 et 1996, et a assuré le suivi des expérimentations et la recherche sur les matériaux constitutifs.
Depuis 1997, les activités relatives aux engins expérimentaux sont arrêtées. La recherche et développement sur les matériaux nucléaires a été transférée au centre de Valduc, et au Ripault, près de Tours, pour les autres matériaux. Les installations correspondantes sont en cours de démantèlement et produisent essentiellement des déchets TFA et FMA-VC. Quelques activités spécifiques limitées touchant à la physique et aux analyses subsistent sur le site.

Valduc (21)

Ce centre réalise certains éléments constitutifs des armes nucléaires. Il traite leurs matières radioactives (plutonium, uranium et tritium) et mène aussi des recherches sur les matériaux.
Ses activités produisent des déchets contaminés en émetteurs alpha d'une part et en tritium d'autre part, à hauteur de quelques centaines de m^3 par an. En l'absence de filière de gestion opérationnelle, ces derniers sont entreposés sur le site de Valduc qui peut accueillir ponctuellement et en quantité limitée des déchets tritiés d'autres producteurs.

Moronvilliers (51)

Des essais de détonique utilisant de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235 sont réalisés sur ce site militaire.

CESTA et TEE (« Terrain d'expérimentation extérieur ») (33)

Le Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine (CESTA) est un établissement de la direction des applications militaires du CEA qui a pour mission historique l'architecture industrielle des têtes nucléaires des armes de la force de dissuasion. Des expérimentations en détonique y ont été menées, utilisant, pour certaines d'entre elles, de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235.

Nota :

Le site militaire de Vaujours (93) a servi essentiellement de 1947 à 1955 comme lieu d'expérimentation pour des explosifs et des munitions classiques.
En 1997, des opérations de remise en état et d'assainissement se sont déroulées sur les zones de tirs contaminées par d'anciennes expériences employant de l'uranium appauvri et sont aujourd'hui terminées. Ce site n'appartient plus à la direction des applications militaires du CEA.

Les installations d'AREVA liées à la force de dissuasion

Marcoule (30)

Le site de Marcoule accueille les réacteurs CELESTIN et l'Atelier tritium de Marcoule (ATM) tous deux exploités par AREVA pour le compte de la DAM.

Pierrelatte (26)

L'Usine de recyclage et d'élaboration (URE) est utilisée dans le cadre de la fourniture de combustibles à usage militaire.

Cadarache (13)

Les installations de la propulsion nucléaire, exploitées par AREVA pour le compte du CEA, permettent de développer, qualifier puis de maintenir

certains systèmes et équipements destinés aux chaufferies des bâtiments de la Marine. Réparties sur une vingtaine d'hectares, ces installations regroupent des installations soumises à la réglementation des ICPE ainsi que cinq installations individuelles :

- la pile expérimentale AZUR ;
- l'atelier de fabrication du combustible FSMC ;
- l'installation « réacteur RES », dont le module réacteur est en construction (divergence prévue en 2011) ;

ainsi que deux installations arrêtées décrites dans le paragraphe suivant :

- le Prototype à terre (PAT) en mise à l'arrêt définitif (MAD) ;
- le Réacteur nouvelle génération (RNG) en cessation définitive d'exploitation (CDE).

Les installations arrêtées

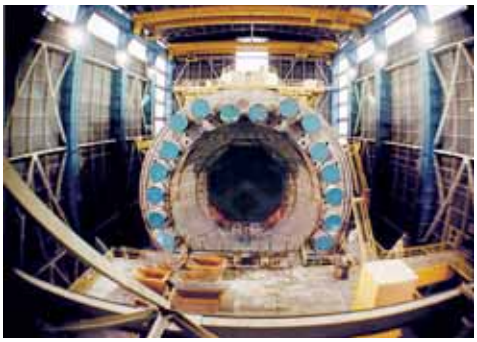
Elles produisent des déchets selon leur calendrier d'assainissement et de démantèlement.

Depuis 2004 le CEA assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement de :

- **l'usine UP1 à Marcoule (30)**, rattachée à l'activité « Aval du cycle du combustible » (voir sous-chapitre 4.3). Cette usine a extrait et purifié du plutonium à usage militaire avant de traiter certains assemblages combustibles irradiés des réacteurs de la filière UNGG, ainsi que des réacteurs de recherche du CEA.

Le CEA/DAM (Direction des applications militaires) assure quant à lui la maîtrise d'ouvrage du démantèlement :

- **des « usines basse, moyenne, haute et très haute » (activité) de Pierrelatte (26).** L'établissement de Pierrelatte, exploité par AREVA, a produit, par le procédé de diffusion gazeuse, de l'uranium enrichi à usage militaire puis du combustible nucléaire à usage militaire et civil. L'arrêt de la production de matières fissiles à base d'uranium fortement enrichi pour les besoins de la Défense, a entraîné la fermeture des quatre usines d'enrichissement (usines basse, moyenne, haute et très haute activité) ;
- **des réacteurs G2, G3 à Marcoule.** Dès la fin des années 1950, ces réacteurs ont fabriqué du plutonium pour la force de dissuasion. Aujourd'hui ils ont été démantelés au niveau 2[4]. Des structures de graphite et des déchets divers issus de leur propre démantèlement (notamment des produits d'un four de fusion des déchets métalliques) sont entreposés dans leurs parties non démantelées à ce jour ;
- **les réacteurs PAT et RNG à Cadarache (13)**. Concernant le PAT, après la cessation définitive d'exploitation (CDE) prononcée en 1998 ; les travaux de mise à l'arrêt définitif (MAD) ont été finalisés en 2001. Concernant le RNG, sa CDE a été prononcée en 2006.



Réacteurs G2, G3 à Marcoule

Autres installations travaillant pour le compte de la DAM

Limeil-Brévannes (94)

Les derniers déchets de la société SODERN, contaminés en tritium et résultant de la fabrication de générateurs de neutrons pour le compte de la DAM ont été évacués vers le site de Valduc.

4 L'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA) définit trois niveaux de démantèlement, selon l'état final de l'installation.

Le Centre d'expérimentation du Pacifique

Entre 1966 et 1996, le Gouvernement français a testé des armes nucléaires sur le Centre d'expérimentation du Pacifique (CEP), implanté sur les atolls de Mururoa et Fangataufa dans le Pacifique sud, sur le territoire de la Polynésie française. Sur l'atoll de Hao fut établie la base avancée du CEP.
Les essais nucléaires ont d'abord été effectués dans l'atmosphère (1966-1974), puis en souterrain, dans des puits forés verticalement dans les roches de la couronne corallienne (1975-1987) ou sous les lagons (1981-1996).
L'activité résiduelle du sous-sol est présentée dans l'Inventaire géographique.

Atoll de Mururoa

Entre 1966 et 1974, la France a procédé sur cet atoll à 37 expérimentations nucléaires dans l'atmosphère et à 5 expériences de sécurité atmosphériques puis, de 1976 à décembre 1995, à 127 essais nucléaires souterrains et 10 expériences de sécurité.

Atoll de Fangataufa

Entre 1966 et 1970, la France a procédé sur cet atoll à 4 expérimentations nucléaires dans l'atmosphère puis, de 1975 à janvier 1996, à 10 essais nucléaires souterrains.

Atoll de Hao

Sur l'atoll de Hao qui constituait la base avancée du Centre d'expérimentations du Pacifique (CEP), d'importantes infrastructures aéroportuaires ont été construites ainsi que des laboratoires entre 1963 et 1965.
Les installations du CEP ont été démantelées entre février 1996 et juillet 1998.

4.10.2 Déchets produits

Les déchets de la DAM présentent deux particularités récurrentes. Les quantités produites sont faibles au regard des productions civiles et ces déchets sont presque uniquement contaminés par des émetteurs alpha ou du tritium.

Déchets MA-VL

Ce sont essentiellement des boues et concentrats produits autrefois par la station de traitement des effluents de Valduc, injectés et placés dans des fûts métalliques ainsi que des déchets technologiques en attente d'expédition vers Cadarache.

Déchets FMA-VC et TFA

Les déchets FMA-VC et TFA du CEA/DAM sont en règle générale accueillis sur les centres de stockage FMA et TFA de l'Aube.

Déchets TFA tritiés

Fût métallique de boues et concentrés cimentés

Cependant, un cas particulier est constitué par les déchets tritiés trop actifs ou trop dégazants pour pouvoir être stockés en l'état sur ces centres en raison du risque de marquage de l'environnement par le tritium, élément très mobile.
Face à cette situation, la loi du 28 juin 2006 a chargé le CEA de « la mise au point pour le 31 décembre 2008 de solutions d'entreposage des déchets contenant du tritium permettant la réduction de leur radioactivité avant leur stockage de surface ou à faible profondeur ».
Un rapport proposant des solutions d'entreposage pour l'ensemble des déchets tritiés actuels et futurs sans filière, permettant leur décroissance avant leur stockage définitif a été élaboré par le CEA et remis au ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT) en décembre 2008 (voir encadré 3.2 au chapitre 3).

4.10.3 Scénario pour 2008-2030

Le scénario retenu prévoit le maintien du niveau de production actuelle. Il coïncide avec les perspectives de continuité de la force de dissuasion nucléaire. Ainsi, les centres placés sous la responsabilité du CEA/DAM produiront un volume de déchets radioactifs relativement constant sur les prochaines années.
La prévision inclut les opérations d'assainissement, de démantèlement (en particulier, début du démantèlement des anciens réacteurs UNGG G2 et G3 de Marcoule) et de reprise de déchets anciens sur la période.
Les futurs outils de simulation, notamment le laser mégajoule sur le site du CESTA, ne changeront pas fondamentalement la nature et les quantités de déchets produits actuellement.
Les grands programmes de démantèlement et de reprise des déchets anciens des installations de Défense de la vallée du Rhône (Marcoule et Pierrelatte), à l'arrêt définitif depuis 1997 (voir sous-chapitre 4.3), se poursuivent.

4.10.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.33 présente les stocks de déchets du secteur d'activité « centres d'études, de production ou d'expérimentation pour la force de dissuasion » à fin 2007, fin 2020 et fin 2030.
Quand des déchets vitrifiés HA ont été produits pour le compte de la force de dissuasion, ils l'ont été dans les installations de traitement du combustible d'AREVA. À ce titre, selon le mode de comptabilisation de l'Inventaire, ils sont rattachés aux activités de traitement (voir sous-chapitre 4.3).

Tableau 4.33 : stocks de déchets à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 en m^3 équivalent conditionné

	2007	2020	2030
MA-VL	81	81	91
FA-VL	-	-	8 125
FMA-VC	26 277 dont 22 352 déjà stockés, dont 2 840 tritiés (non stockés)	32 684	37 358
TFA	31 925 dont 40 446 déjà stockés	46 925	54 925

Cette remarque s'applique à l'ensemble des autres filières de gestion ; ne sont comptabilisés ici que les déchets relevant *stricto sensu* des activités décrites dans ce sous-chapitre.

4.10.5 Déchets au titre du démantèlement après 2030

Les principales opérations de démantèlement qui se poursuivront au-delà de 2030 sont :

- le démantèlement des réacteurs CELESTIN, de l'Atelier tritium et des réacteurs G2 et G3 jusqu'au niveau 3 de l'AIEA, à Marcoule ;
- le démantèlement de la pile expérimentale AZUR et de l'atelier de fabrication du combustible FSMC, à Cadarache ;
- le démantèlement de certaines installations, à Valduc.

À Pierrelatte toutes les installations de la DAM seront démantelées avant 2030.

Pour ces opérations, une évaluation des déchets produits a été réalisée (tableau 4.34) hormis pour les installations de la propulsion nucléaire de Cadarache pour lesquelles cette évaluation est en cours de consolidation.

Tableau 4.34 : déchets de démantèlement après 2030 en m³ équivalent conditionné

FA-VL	6 000
FMA-VC	6 000
TFA	20 000

4.10.6 Matières radioactives

La Défense nationale utilise du combustible pour les réacteurs de production de certaines matières et pour les réacteurs d'essais et embarqués de la propulsion nucléaire.

L'Inventaire national ne peut pas détailler la localisation ou la composition de ces combustibles qui relèvent d'un secteur sensible. Ils représentent une part faible des combustibles engendrés par la production électronucléaire et la recherche civile.

Les combustibles usé de la Défense nationale sont aujourd'hui entreposés et leur avenir n'est pas décidé (stockage ou traitement). Les stocks à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 sont présentés dans le tableau 4.35.

Tableau 4.35 : combustibles usés de la Défense nationale en tonnes à fin 2007, fin 2020, fin 2030

2007	2020	2030
141	230	298

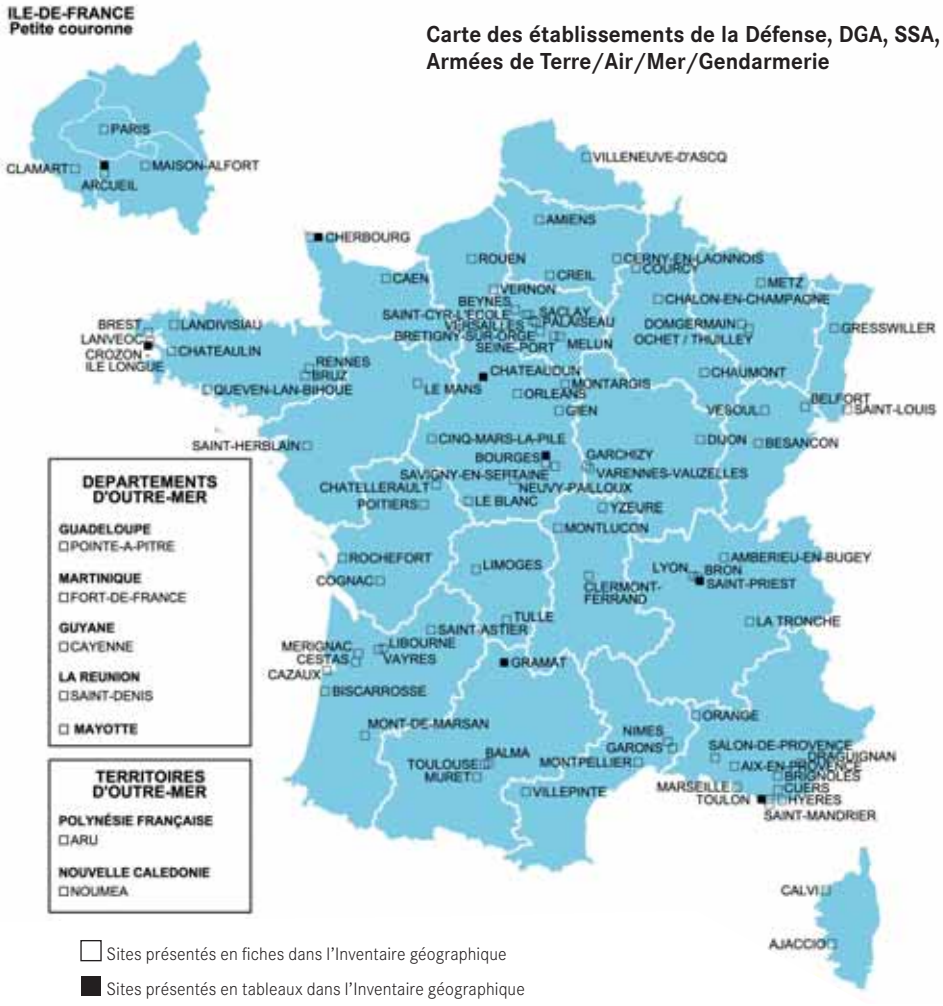
Les quantités de plutonium militaire, d'uranium enrichi et de tritium sont couvertes par le « secret défense ».

4.11 établissements de la Défense

Ce secteur d'activité regroupe les activités professionnelles liées à la Défense nationale (hors centres de la force de dissuasion traités précédemment) et détenant des déchets radioactifs, qu'elles relèvent directement du ministère de la Défense ou qu'elles travaillent pour son compte.

Sous-marin Le Redoutable

Carte des établissements de la Défense, DGA, SSA, Armées de Terre/Air/Mer/Gendarmerie



☐ Sites présentés en fiches dans l'Inventaire géographique

■ Sites présentés en tableaux dans l'Inventaire géographique

4.11.1 Description des activités et des sites

Les matériels réformés des armées

Toutes les armées possèdent des matériels utilisant des propriétés de la radioactivité, notamment pour la vision nocturne. Ces matériels usagés ou devenus obsolètes constituent des déchets, recensés dans chaque établissement de la Défense nationale (une centaine d'établissements de l'Armée de terre, de l'Armée de l'air, de la Marine nationale et de la Gendarmerie).
Il s'agit essentiellement de petits matériels de type boussoles au radium ou au tritium, de dispositifs de visée, de plaques et cadrans luminescents ou de dispositifs divers de contrôle. Certaines pièces de moteur d'avions réformés, contenant du thorium, sont également recensées (carter en alliage magnésium/thorium par exemple).
Plusieurs établissements regroupent ces déchets pour centraliser et simplifier leur gestion. Ainsi, la Délégation générale de l'armement (DGA) à Arcueil (94) et au Bouchet (91), ou l'établissement de l'Armée de l'air à Châteaudun (28) reçoivent les pièces d'alliages au magnésium thorié. L'Armée de terre à Saint-Priest (69) accueille les boussoles et les plaques luminescentes.

Les Services de santé des armées (SSA)

Se reporter au sous-chapitre 4.7 consacré à la médecine.

Les ports de la Marine nationale

Les arsenaux de Cherbourg, Crozon/Ile Longue et Toulon produisent des déchets en raison des opérations d'entretien ou de maintenance des chaudières nucléaires embarquées (propulsion des sous-marins et du porte-avions français).

L'établissement de la direction des chantiers navals

À Indret (44), cet établissement fabrique des éléments des chaufferies nucléaires pour la flotte française en collaboration avec AREVA. Les cœurs de réacteurs réformés sont entreposés à Cherbourg.

Le Redoutable : découpe de la tranche réacteur

Les centres d'essais utilisant de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235

Ceux de Bourges et de Gramat renferment des déchets radioactifs qui résultent des expérimentations et essais[5] menés sur des armes[6] contenant de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235.

5 En France, des procédures précises encadrent les essais de munitions contenant de l'uranium. Ils sont exclusivement réalisés dans des installations confinées et régulièrement contrôlées par le Service de protection radiologique des armées (SPRA).

6 Dans les armes, l'uranium métallique est utilisé, non en raison de sa radioactivité, mais pour ses propriétés mécaniques et pyrophoriques.

4.11.2 Déchets produits

Le Service de protection radiologique des armées (SPRA) a établi la liste de 114 établissements qui produisent ou détiennent des déchets radioactifs (tableau 4.36). Les tableaux présentés de façon détaillée dans l'Inventaire géographique rendent compte de cette diversité des déchets, essentiellement des petits matériels réformés incorporant des peintures luminescentes au radium ou au tritium (boussoles, plaques, lignes de mire, cadrans...). Ils répertorient 28 types d'objets.
Par ailleurs la propulsion navale déclare les déchets résultant des chaudières en service (sous-marins, porte-avions) sur les arsenaux de Cherbourg, Crozon/Ile Longue et Toulon.

Tableau 4.36 : les établissements de la Défense (DGA, DCN, Armées)

Localisation	Remarque
114 établissements recensés sur 20 régions françaises. Les principaux sites sont listés ci-dessous	Voir le recensement détaillé des sites et des déchets dans l'Inventaire géographique
Arcueil (94) **Le Bouchet (91)** **Châteaudun (28)** **Saint-Priest (69)**	Site de regroupement de matériels réformés pour une gestion centralisée
Bourges (18) **Gramat (46)**	Uranium appauvri
Cherbourg (50) **Crozon Ile Longue (29)** **Toulon (83)** **La Montagne (44) – Indret Site**	Propulsion navale

4.11.3 Scénario pour 2008-2030

La production des déchets radioactifs des Armées est supposée se prolonger dans la continuité des pratiques actuelles.

4.11.4 Résultats généraux pour 2007, 2020 et 2030

Le tableau 4.37 présente les stocks de déchets du secteur d'activité Défense à fin 2007, fin 2020 et fin 2030.

Tableau 4.37 : stocks de déchets à fin 2007, fin 2020 et fin 2030 en m^3 équivalent conditionné

	2007	2020	2030
FA-VL	435	598	723
FMA-VC	12 749 dont 12 532 déjà stockés	13 603	14 218
TFA	1 341 dont 397 déjà stockés	9 141	14 541

4.12 entreposages, stockages

Ce secteur d'activité comprend les centres de stockage et d'entreposage de l'Andra, les entreposages de déchets non produits par l'organisme d'accueil, les sites de stockage historique.

Carte des lieux d'entreposage et de stockage

Les entreposages recensés dans ce secteur d'activité sont ceux qui accueillent, provisoirement des déchets produits par d'autres activités industrielles. C'est le cas par exemple de certains entreposages exploités par le CEA ou l'Andra qui accueillent des déchets radioactifs collectés chez des particuliers (tels que les aiguilles au radium ou les paratonnerres radioactifs).

En revanche, les entreposages dans lesquels les industriels gèrent leurs propres déchets en attente de stockage ne sont pas rappelés ici. Ces entreposages sont présentés au chapitre 3 et dans l'annexe 4 pour les déchets HA et MA-VL.

En ce qui concerne les stockages, ce secteur d'activité regroupe des sites de natures très différentes.

Certains sont spécifiquement conçus pour accueillir des déchets radioactifs : c'est le cas des centres de stockage de l'Andra, qui peuvent recevoir les déchets dans les limites de leurs spécifications techniques d'acceptation.

D'autres sont des installations industrielles conçues pour l'accueil de déchets conventionnels, qui ont pu recevoir par le passé, ou reçoivent encore, des

Centre de stockage de la Manche

Centre de stockage FMA de l'Aube

Centre de stockage TFA de l'Aube

Déchargement d'un caisson métallique (Centre de stockage FMA de l'Aube)

Dépôt d'une coque béton dans une alvéole (Centre de stockage FMA de l'Aube)

Stockage de fûts métalliques (Centre de stockage FMA de l'Aube)

déchets présentant des quantités très faibles de radioactivité. Pour mémoire, la mise en stockage conventionnel de déchets radioactifs n'est autorisée par la réglementation que pour des déchets dont la radioactivité est uniquement d'origine naturelle, éventuellement à des teneurs renforcées, et dont le niveau ne nécessite pas de mesure de radioprotection particulière (voir chapitre 1). Les conditions d'acceptation de ces déchets sont définies dans une circulaire ministérielle du 25 juillet 2006.

D'autres stockages encore, sont relatifs à des sites généralement à proximité d'installations nucléaires ou d'usines où par le passé ont été stockés, en buttes, remblais, lagunes, des déchets radioactifs que l'exploitant ou le détenteur n'envisageait pas de reprendre à la date de sa déclaration à l'Inventaire national.

Ces deux derniers types de sites, qui ne sont pas sous la responsabilité de l'Andra, sont appelés « stockages historiques ».

Enfin, certains sites évoqués dans ce sous-chapitre concernent des pratiques anciennes, autorisées à l'époque mais qui ne sont plus jugées acceptables de nos jours. Il en va ainsi des sites d'immersion de déchets.

Nota : Les sites de la Polynésie française (Mururoa, Fangataufa et Hao), rattachés au secteur d'activité de la force de dissuasion, sont également considérés comme des stockages historiques. Ils sont décrits au sous-chapitre 4.10.

Les centres de stockage et d'entreposage de l'Andra

Le Centre de stockage de la Manche (CSM)

Autorisé par décret en 1969, le premier centre français de stockage en surface de déchets FMA-VC occupe une surface d'environ 15 hectares, près de l'usine de traitement de combustibles nucléaires d'AREVA à La Hague.

Exploité jusqu'en juin 1994, il a accueilli environ 527 000 m^3 de déchets. Il est désormais protégé par une membrane imperméable et est entré officiellement en phase de surveillance en janvier 2003.

Le Centre de stockage FMA de l'Aube (CSFMA)

Entré en exploitation en janvier 1992, le Centre de stockage FMA de l'Aube (CSFMA) a pris le relais du Centre de stockage de la Manche. Le concept du CSFMA consiste à isoler les déchets radioactifs de l'environnement pendant le temps nécessaire à la décroissance de la radioactivité, jusqu'à un niveau sans risque pour la population et l'environnement.

Les colis sont placés dans des cases en béton armé (les ouvrages) puis immobilisés par du gravier ou un coulis de béton. Une dalle en béton armé clôt ces ouvrages, après leur remplissage. À la fin de l'exploitation du CSFMA, une couverture de plusieurs mètres d'épaisseur devrait les recouvrir, comme pour le CSM.

Le CSFMA accueille des colis au rythme actuel d'environ 13 000 m^3 par an. Au 31 décembre 2007, 208 053 m^3 de colis de déchets y étaient stockés. Avec une capacité d'un million de mètres cubes, le CSFMA pourra recevoir des colis de déchets pendant encore plusieurs décennies.

Les activités de stockage peuvent engendrer des déchets induits (par l'exploitation du centre, le contrôle des colis reçus, la maintenance...). Mais ceux-ci constituent un volume très faible. À titre d'exemple, l'exploitation du CSFMA produit environ 50 m^3 de déchets FMA-VC par an.

Des informations complémentaires sur le CSFMA sont données en annexe 3.

Le Centre de stockage de déchets radioactifs de très faible activité de l'Aube (CSTFA)

En France, les pouvoirs publics ont fait le choix de gérer de manière spécifique les déchets issus des zones dites « nucléaires » des installations nucléaires de base, quel que soit le niveau de radioactivité qu'ils présentent.

Contrairement aux pratiques internationales, il n'y a donc pas de « seuil de libération », c'est-à-dire de niveau de radioactivité en dessous duquel ces déchets ne sont plus considérés comme radioactifs. Seule importe leur origine au sein de l'installation. Pour accueillir les déchets les moins radioactifs, qualifiés de « très faible activité » (TFA), l'Andra exploite depuis août 2003 un centre dédié, sur la commune de Morvilliers (10). Ce centre dispose d'une capacité d'accueil de 650 000 m^3 et bénéficie de la proximité du CSFMA. Au 31 décembre 2007, 89 331 m^3 de colis de déchets étaient stockés sur le CSTFA.
Les déchets y sont stockés dans des alvéoles creusées dans l'argile. Dans quelques dizaines d'années, l'activité des radionucléides à vie courte et moyenne aura fortement décru. À long terme, les propriétés de rétention du site argileux assureront le confinement des radion ucléides à vie longue et des substances chimiques.
Des informations complémentaires sur le CSFTA sont données en annexe 3.

Déchargement des big-bags (Centre de stockage TFA de l'Aube)

Navette entre les bâtiments (Centre de stockage TFA de l'Aube)

Les entreposages temporaires de l'Andra

- **La plate-forme de Bollène (84),** gérée par la société SOCATRI, accueille des opérations de tri et d'entreposage de déchets de petits producteurs. Des informations sur sa capacité d'accueil et sur la capacité occupée à fin 2007 sont données au chapitre 3.
- **Le Centre de regroupement Nord (CRN),** implanté au sein du centre d'études CEA de Saclay (91), regroupe des déchets provenant du secteur médical, de la recherche et de l'industrie.

Les zones d'entreposages sur des sites du CEA

Pour des causes historiques et en raison de leurs compétences, **les centres du CEA, essentiellement de Saclay et de Cadarache,** accueillent en entreposage des déchets divers qu'ils n'ont pas produits. Il s'agit de déchets qui relèvent de stockages encore à l'état de projet (déchets radifères et sources scellées usagées). Ainsi, près de 155 000 sources scellées (voir sous-chapitre 4.8), d'origines diverses, sont entreposées dans l'INB 72 de Saclay. Des terres provenant de l'assainissement des établissements Bayard contaminées par du radium, des résidus anciens de l'usine de production de terres rares Rhône-Poulenc à La Rochelle, ou encore des paratonnerres radioactifs, trouvent place à Cadarache.

Les sites de stockage historique

Des centres de stockage de déchets conventionnels[7]

Des opérateurs autres que l'Andra gèrent plusieurs centres qui reçoivent ou ont reçu, régulièrement ou occasionnellement, des déchets comportant de faibles quantités de radioactivité qui avoisinent le plus souvent quelques Bq/g. Ces derniers ne sont pas considérés par les pouvoirs publics comme des déchets radioactifs, puisqu'ils ont pu être éliminés par une filière conventionnelle, dans les conditions de l'époque. Ces sites ne relèvent pas directement de l'Inventaire national, mais sont cités ici pour mémoire. On estime à environ 140 000 m^3, le volume des déchets comportant de faibles quantités de radioactivité stockés sur ces sites.
Les déchets autrefois mis dans ces centres de stockage conventionnels proviennent pour partie des centres d'études du CEA (déchets de démantèlement, terres et gravats venant d'opérations d'assainissement diverses).
Les sites de ce type recensés dans l'Inventaire national sont au nombre de douze. Ils se trouvent sur les communes suivantes :

7 Ces sites sont présentés dans l'Inventaire géographique pour la plupart sous l'appellation « installation de stockage de déchets dangereux » ou « installation de stockage de déchets non dangereux », conformément aux arrêtés du 30 décembre 2002 et du 19 janvier 2006. Ils étaient auparavant présentés sous l'appellation « décharge » ou « centre d'enfouissement technique ».

- Angervilliers dans l'Essonne (91) ;
- Bailleau-Armenonville dans l'Eure-et-Loir (28) ;
- Bellegarde dans le Gard (30) ;
- Champteusse-sur-Baconne dans le Maine-et-Loire (49) ;
- Freney (Les Teppes) en Savoie (73) ;
- Menneville dans le Pas-de-Calais (62) ;
- Monteux dans le Vaucluse (84) ;
- Pontailler-sur-Saône en Côte-d'Or (21) ;
- Saint-Paul-les-Romans dans la Drôme (26) ;
- Saint-Quentin-sur-Isère dans l'Isère (38) ;
- Solérieux dans la Drôme (26) ;
- Vif (décharge du Serf) dans l'Isère (38).

Parmi ces sites, seul celui de Bellegarde dans le Gard reçoit encore des déchets à radioactivité naturelle renforcée, dans des conditions conformes à la circulaire ministérielle du 25 juillet 2006.

Des sites généralement à proximité d'installations nucléaires ou d'usines, où par le passé ont été stockés, en buttes, remblais, lagunes, des déchets radioactifs que l'exploitant ou le détenteur n'envisageait pas de reprendre à la date de sa déclaration à l'Inventaire national.

À titre d'exemple, des déchets TFA issus du démantèlement de l'ancienne usine du Bouchet, de teneur moyenne en radium et uranium comparable à celles rencontrées dans la nature (jusqu'à 3 Bq/g), ont été utilisés sur le chantier de l'autoroute A87 à Chilly-Mazarin (91) dans les années 1970. Par ailleurs, des déchets issus de l'usine Rhodia (à l'époque Rhône-Poulenc), contaminés également à des teneurs faibles en thorium 232 (48 Bq/g) et en uranium 238 (6 Bq/g), ont servi, avec d'autres matériaux, comme remblai pour les installations portuaires de La Pallice à La Rochelle (17).

À fin 2007, les sites de ce type recensés dans l'Inventaire national sont les suivantes :

- la butte de Pierrelatte dans la Drôme (26) ;
- la butte de Bugey dans l'Ain (01) ;
- l'ancien dépôt situé sous les bâtiments de l'usine ATOFINA de Serquigny dans l'Eure (27) ;
- la lagune de Vernay à Loos-Lez-Lille dans le Nord (59) ;
- le port de La Pallice à la Rochelle en Charente-Maritime (17) ;
- la butte de Montboucher dans l'Essonne (91) ;
- l'autoroute A87 à Chilly-Mazarin dans l'Essonne (91).

S'ajoute à cette liste, le site de La Rochelle (usine Chef de Baie) sur lequel sont stockés en remblais, des résidus solides. Ce site n'est pas classé dans le secteur d'activité « entreposage/stockage » car des déchets (résidus radifères RRA) y sont encore actuellement produits ; il est rattaché au secteur d'activité « Industrie non nucléaire utilisant des matériaux naturellement radioactifs ».

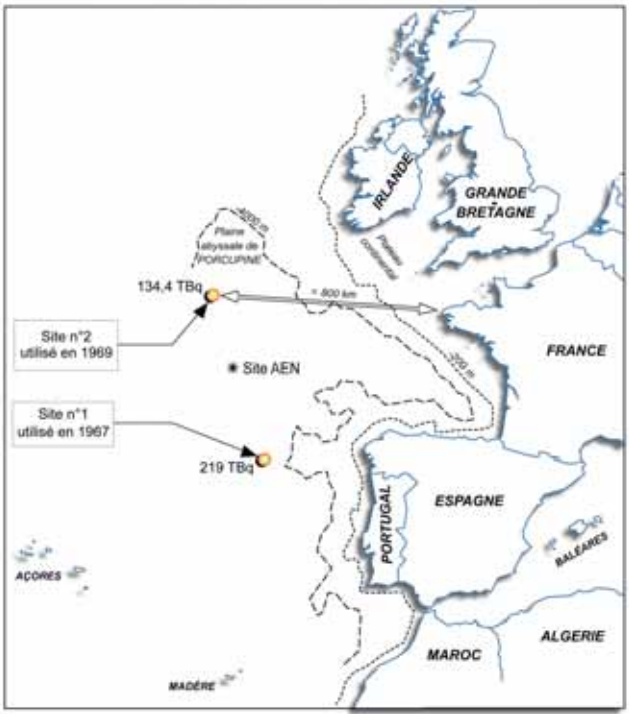
À fin 2007, on estime à 144 000 m^3 les volumes de déchets stockés sur l'ensemble de ces sites.

La butte de Pierrelatte, devenue propriété d'AREVA au 1er janvier 2007, contient actuellement environ 15 000 m^3 de déchets produits par d'autres entités qu'AREVA et stockés entre 1964 et 1977. Ainsi se trouvent sur ce site des barrières de diffusion, des fluorines, des boues et des déchets divers provenant des installations de production d'uranium enrichi à usage militaire et des installations annexes. AREVA a décidé de transférer vers un centre de stockage approprié les barrières de diffusion (soit environ 800 m^3), d'ici à 2013.

Les déchets immergés

À la fin des années 1960 la France a participé à deux campagnes expérimentales d'immersion de déchets radioactifs, coordonnées par l'OCDE, au large de l'Atlantique, à 4000 mètres de profondeur. Aucun centre de stockage en surface n'existait à cette époque. Il s'agit de 46 396 fûts, d'une masse totale de 14200 tonnes environ et d'une radioactivité de 354 TBq, provenant des boues de décantation de l'usine de traitement de Marcoule. Cette activité reste marginale en regard des pratiques d'immersion plus soutenues du Royaume-Uni, de la Suisse, ou dans une moindre mesure de la Belgique et des Pays-Bas. Les conventions internationales interdisent aujourd'hui de telles pratiques.
L'annexe 5 présente en détail ces pratiques d'immersion.
Aucun autre déchet radioactif n'est immergé dans l'Atlantique depuis 1969.

Déchets radioactifs immergés dans l'Atlantique par la France



France = 0,8% (de la totalité des activités immergées en Atlantique EST)

SITES D'IMMERSION DE DÉCHETS FRANÇAIS
- Année : 1967 et 1969
- Nombre de colis : 46 396
- Masse : 14 200 tonnes
- Activité totale : 353 TBq (8 TBq en α et 345 TBq en $\beta\gamma$)

* **ZONE UTILISÉE PAR L'AEN DE 1971 à 1982**
123 000 colis pour 30 684 TBq en α

Sources : AIEA - Mars 1991, Août 1999/Académie des Sciences 1985

les sites pollués par la radioactivité

5.1 qu'est-ce qu'un site pollué par la radioactivité ?

La circulaire interministérielle du 17 novembre 2008 [1] donne la définition suivante :
« Un site de pollution radioactive s'entend de tout site, abandonné ou en exploitation, sur lequel des substances radioactives, naturelles ou artificielles, ont été ou sont manipulées ou entreposées dans des conditions telles que le site présente des risques pour la santé et/ou l'environnement ».
La pollution constatée doit être imputable à une ou plusieurs substances radioactives, telles que définies par l'article L 542-1-1 du code de l'environnement, à savoir toute « substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection ».

Cette nouvelle circulaire interministérielle vient abroger celle du 16 mai 1997 mais ne vient pas substantiellement modifier la définition réglementaire d'un site de pollution radioactive.

Un site pollué se caractérise donc par le fait qu'il a fait l'objet d'une dispersion non contrôlée de substances radioactives dont les effets ne sont pas compatibles avec les règles en vigueur concernant la santé publique et la protection de l'environnement. La définition fait donc appel, explicitement, à la notion de risque sanitaire qui dépend directement de l'usage qui est fait du site.

La présence seule de radioactivité sur un site, qu'elle soit d'origine naturelle ou artificielle, ne signifie donc pas un site de pollution radioactive en tant que tel. En particulier, un site peut simplement être marqué par la radioactivité, c'est-à-dire qu'il présente des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait d'action particulière à envisager du fait de l'absence de risques. Les causes de marquage de l'environnement par des radioéléments peuvent être variées et sont dues aux activités industrielles ou artisanales menées sur le site, ou à une contamination d'origine extérieure.

[1] Circulaire interministérielle du 17 novembre 2008 relative aux missions d'intérêt général de l'Andra et à la prise en charge de certains déchets radioactifs et de sites de-pollution radioactive.

5.2 la stratégie pour la gestion des sites pollués

Politique nationale de gestion des sites pollués

La nouvelle circulaire précise que « la gestion d'un site de pollution radioactive doit être cohérente avec la politique nationale en matière de sites et sols pollués telle que présentée dans la circulaire du ministre chargé de l'écologie en date du 8 février 2007 relative à la prévention de la pollution des sols - modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués ».
En particulier, cette politique nationale met en avant le principe de la gestion des risques suivant l'usage du site.
Il en résulte que les modalités de gestion des sites peuvent varier en fonction de la sensibilité de la réutilisation du site. La dépollution sera par exemple beaucoup plus poussée si le site est à usage d'habitation qu'un simple parking, sous réserve de s'assurer du maintien de l'usage dans le temps, par exemple en ayant recours à des servitudes.
Cette politique définie et encadrée par la puissance publique fait en outre largement appel aux notions en usage sur les sites de pollution chimique.
Les pouvoirs publics se sont dotés d'une organisation pour traiter la question des sites pollués. La Direction générale de la prévention des risques au ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT) est responsable de la définition de la politique générale de l'État en matière de sites pollués, que ce soit par des contaminants chimiques ou radioactifs. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) intervient également dans le cadre des sites pollués par la radioactivité, au titre de sa mission générale de protection du public et des travailleurs contre les rayonnements ionisants.

La politique de gestion des sites pollués s'organise autour de deux concepts principaux :

- l'examen et la gestion du risque, plutôt que l'attachement au niveau de pollution intrinsèque ;
- la gestion du site en fonction de son usage présent ou futur.

Une action est décidée après l'évaluation du risque que le site présente pour les personnes du public. La nécessité de dépolluer, et les objectifs de dépollution, s'évaluent donc en fonction des risques qui seraient encourus dans le cadre de l'utilisation prévue pour le site.
Le traitement d'une pollution ne signifie pas nécessairement que l'on cherche à retirer l'ensemble des contaminants, ce qui n'est d'ailleurs pas toujours possible. Des opérations telles que le confinement de la radioactivité sur site, la surveillance des eaux souterraines, les restrictions d'usage, etc. peuvent être retenues, selon les situations.

L'intervention sur site n'implique donc pas nécessairement la production de déchets radioactifs à évacuer. Cependant, dans la mesure où l'expérience montre que plusieurs opérations d'assainissement ont conduit à l'évacuation de tels déchets (des terres contaminées, par exemple), l'Inventaire national s'attache à présenter les sites qui ont fait ou pourront faire dans l'avenir l'objet d'opérations d'assainissement.

Les décisions et évaluations se fondent sur les éléments de caractérisation technique du site au moyen de cartographies radiologiques, d'analyses de prélèvement de sols et d'eaux souterraines et, dans le cas particulier des sites pollués au radium, par l'analyse de la teneur en radon dans l'air intérieur des bâtiments. Le radon est en effet produit par décroissance radioactive du radium.

Quand un site se révèle pollué par la radioactivité, un assainissement est généralement envisagé, soit à la demande du propriétaire du site, soit par les pouvoirs publics quand le responsable en titre du site est défaillant (à la suite d'une liquidation judiciaire par exemple). Dans ce cas, la loi du 28 juin 2006 (voir ci-dessous) permet à la puissance publique de déléguer à l'Andra la mission de maîtrise d'ouvrage du chantier.

Opérationnellement, l'Andra intervient sur les sites à responsable défaillant sur réquisition des pouvoirs publics. Cette réquisition prend en général la forme d'un arrêté préfectoral de travaux d'office. Le préfet territorialement compétent prend cet arrêté après autorisation du ministre de l'Écologie.

Les interventions sont faites en relations étroites avec les administrations locales concernées : Directions régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE), ASN et Directions départementales des Affaires sanitaires et sociales (DDASS).

Les missions d'intérêt général de l'Andra et la CNAR

Le législateur a décidé en 2006 de doter l'Agence d'un cadre d'intervention clair pour ces assainissements.

En effet la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs est venue préciser en son article 14 (1° et 6°) le contenu des missions d'intérêt général de l'Andra, en visant 3 objectifs :

- la réalisation de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs ;
- la prise en charge de certains déchets du nucléaire diffus, notamment ceux du nucléaire « familial » ou « de proximité » où des personnes du public, totalement étrangères à toute utilisation de la radioactivité, se retrouvent détentrices d'objets radioactifs (par héritage par exemple) parfois en ignorant même la nature radioactive des objets qu'elles détiennent (objets au radium, aiguilles, fontaines, par exemple) ;
- la remise en état de sites pollués par des substances radioactives dont le responsable est défaillant et la prise en charge des déchets induits. L'article 15 de la loi pose par ailleurs le principe d'une subvention de l'État qui contribue au financement des missions d'intérêt général qui sont confiées à l'Agence en application des dispositions des 1° et 6° de l'article 14 de la loi. Auparavant l'Agence intervenait sur le fondement de la circulaire du 16 mai 1997 (maintenant abrogée) et de deux mécanismes de financement dédiés à savoir la convention « sites pollués orphelins » (SPO) et le fonds radium, quand ce n'était pas les ressources propres de l'Agence qui étaient mises à contribution.

La CNAR, comprend des représentants des autorités, des établissements publics techniques du monde associatif des élus et deux personnes qualifiées.

Ces deux mécanismes de financement, s'ils ont permis de réaliser des opérations significatives, souffraient de la limitation de leur objet (nature des travaux ou taux de prise en charge limités) et de leur caractère temporaire. Ils sont désormais remplacés par une subvention publique annuelle permettant de sécuriser les financements des opérations et donc de permettre une programmation d'intervention pluriannuelle en fonction de la priorisation des sites.
La Commission nationale des aides dans le domaine radioactif (CNAR) a été créée afin d'émettre un avis sur l'utilisation de cette subvention publique, tant sur les priorités d'attribution des fonds que sur les stratégies de traitement des sites pollués et sur les questions de doctrine de prise en charge aidée des déchets.
La CNAR, présidée par la directrice générale de l'Andra, comprend des représentants des autorités (ASN, Direction générale de la prévention des risques [DGPR], Direction générale de l'énergie et du climat [DGEC], Direction générale de la Santé [DGS]), des établissements publics techniques (ADEME, IRSN), du monde associatif (France Nature Environnement et Robin des Bois), des élus (un élu désigné par l'Association des maires de France, [AMF]) et deux personnes qualifiées (un représentant d'un établissement public foncier et un spécialiste en assainissement).
La CNAR a été créée par délibération du Conseil d'administration de l'Andra en avril 2007. Elle se réunit environ tous les trois mois pour évaluer les dossiers qui lui sont soumis.

Chantier de dépollution à Gif-sur-Yvette

Divers produits contaminés d'Isotopchim

les origines des pollutions radioactives : quelques exemples

5.3

Les causes qui peuvent conduire à la pollution d'un site par de la radioactivité sont de différentes natures.

Les installations amenées à manipuler de la radioactivité, d'origine naturelle ou artificielle, font aujourd'hui l'objet d'un classement comme installation nucléaire de base (INB) ou comme installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) selon les niveaux de radioactivité mis en œuvre. Dans ce cadre, elles sont soumises à des procédures de contrôle strictes qui permettent de limiter les rejets à des valeurs acceptables et de prévenir les accidents. Les exemples de non-respect de la réglementation ou d'accident ayant pu conduire à une pollution radioactive, dans des installations actuellement en activité, sont donc relativement rares.
La plupart des sites pollués renvoie à des activités industrielles du passé, à une époque où n'existait pas toujours une conscience pleine et partagée des risques potentiels liés à la radioactivité. La réglementation de l'époque pouvait autoriser ou tolérer des activités qui seraient interdites de nos jours. Dans de tels cas, des précautions insuffisantes dans la manipulation des produits ont pu conduire à une contamination des locaux. Peut s'y ajouter une mauvaise gestion de la fin des activités industrielles, avec l'abandon sur site de résidus de production éventuellement contaminés.

La plupart des sites pollués renvoie à des activités industrielles du passé, à une époque où n'existait pas toujours une conscience pleine et partagée des risques potentiels liés à la radioactivité.

C'est donc dans les industries dites « historiques » qu'il faut chercher la majorité des sites pollués. On identifie parmi celles-ci, sans volonté d'exhaustivité :

L'extraction du radium pour les besoins de la médecine et pour la parapharmacie, du début du XXe siècle jusqu'à la fin des années trente.

La découverte de la radioactivité naturelle par Henri Becquerel et par Pierre et Marie Curie (prix Nobel conjointement en 1903) s'accompagna rapidement d'un intérêt pour les propriétés thérapeutiques des rayonnements. Dès 1901, sont envisagées les premières applications du radium pour la guérison des tissus malades, notamment les inflammations. À partir de 1906, il est constaté que les cellules cancéreuses sont plus sensibles au rayonnement que les cellules saines. La Première Guerre mondiale voit l'apparition de nouvelles applications thérapeutiques, les rayonnements étant utilisés pour accélérer la cicatrisation des blessures.

Un engouement certain pour les vertus thérapeutiques de la radioactivité s'accompagne du développement d'une véritable industrie du radium en France, avec la création d'usines et d'ateliers d'extraction, d'ateliers de raffinage et de préparation-conditionnement des sels de radium. Les activités d'extraction du radium se poursuivirent en France jusque dans les années vingt, où l'importation par la Belgique de radium à bas prix issu de la République démocratique du Congo (ex-Zaïre) vient mettre fin à ces activités.
Les applications du radium connurent dans ce contexte un développement qui dépasse le domaine médical pour investir le domaine de la parapharmacie (poudres, cataplasmes, pommades), voire des applications encore plus extravagantes, vues d'aujourd'hui, (« laines au radium », etc.).
La prise de conscience progressive des risques liés à la manipulation de la radioactivité, et la découverte des premiers radionucléides artificiels, provoquèrent à partir des années quarante la fin progressive de l'industrie du radium. Les dernières applications ont concerné, jusqu'en 1962, la fabrication de têtes de paratonnerres (voir chapitre 4.8) et l'élaboration de peintures radioluminescentes (voir point suivant). Aujourd'hui, quelques sites ayant accueilli des ateliers d'extraction ou de fabrication sont toujours contaminés par du radium, et font l'objet de l'attention des pouvoirs publics.

La fabrication et l'application de peintures pour la vision nocturne.

Les besoins de vision nocturne sont liés essentiellement aux activités militaires (dispositifs de visée des boussoles et des compas de navigation, cadrans divers, signalisations) et à l'industrie horlogère (cadrans et aiguilles lumineux pour les réveils et les montres).

Jusqu'en 1962, la fabrication et l'application des peintures radioluminescentes ont utilisé le radium, remplacé depuis par le tritium. Les sites de production ont pu faire l'objet de pollutions par l'un ou l'autre de ces radionucléides, liées en règle générale à des pratiques qui ne seraient plus acceptées de nos jours (brûlage sur place des déchets contaminés, manipulation avec peu ou pas de précaution). C'est notamment le cas de l'établissement Radium Light, devenu Bayard, à Saint-Nicolas d'Aliermont (76), qui a été assaini.

Les industries exploitant des minerais tels que la monazite ou les zircons.

Ces minerais contiennent des proportions variables d'éléments naturellement radioactifs, dont le thorium 232 et ses descendants. Ces minerais présentent un intérêt pour l'extraction des terres rares, activité déjà évoquée dans le sous-chapitre 4.9. Quand les terres rares sont extraites, la radioactivité naturelle est concentrée dans les résidus. Le site d'Orflam-Plast à Pargny-sur-Saulx (51) est un exemple d'une ancienne usine de fabrication de pierres à briquet, où l'extraction du cérium a donné lieu au dépôt sur site de résidus thorifères.

Le thorium 232 et ses descendants (dont le radium 228) présentent également un intérêt en eux-mêmes, par exemple pour la fabrication de manchons à incandescence pour l'éclairage publique au gaz, comme abrasifs ou pour diverses applications en métallurgie.

5.4 l'identification des sites pollués

L'identification des sites pollués « historiques » est un travail difficile, dans la mesure où la mémoire des activités industrielles qui se sont exercées sur un site donné tend à se perdre avec les années. L'Andra a contribué à l'identification de sites oubliés, par le biais d'enquêtes historiques sur les activités industrielles aujourd'hui arrêtées qui auraient pu être la source de rejets de radioactivité dans l'environnement, en particulier en ce qui concerne l'industrie de radium.

Le Haut-Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) a récemment émis des recommandations sur l'harmonisation de l'information du public en matière de gestion des sites et sols pollués. Le HCTISN a en particulier recommandé que « le site internet BASIAS développé par le ministère en charge de l'écologie relatif aux anciennes industries où activités de service, soit étendu aux sites industriels susceptibles d'être concernés par des pollutions de nature radioactive ».

La méthodologie mise en œuvre pour alimenter BASIAS se fonde notamment sur l'exploitation des archives anciennes. Elle est, de ce fait, comparable aux enquêtes historiques, préalablement menées par l'Andra.

Il est important par ailleurs de conserver la mémoire des sites pollués qui ont pu être traités, particulièrement si des restrictions d'usage leur sont attachées. L'Andra participe au maintien de cette mémoire collective en publiant régulièrement la liste des sites pollués dans l'Inventaire national.

5.5 inventaire des sites pollués par la radioactivité

Dans le tableau 5.1, est présentée une liste de sites s'étant révélés pollués, à la suite d'investigations radiologiques et dont l'Andra a connaissance, toutes activités confondues – historiques ou actuelles – et quels que soient les radionucléides concernés. Dans la typologie proposée, on a retenu les distinctions suivantes parmi les sites pollués, ou anciennement pollués, recensés :

- les sites en attente ou en cours d'assainissement : A = 24 sites ;
- les sites assainis avec déchets entreposés sur place en attente d'enlèvement : B = 6 sites ;
- les sites assainis avec ou sans servitude : C = 30 sites, qui sont mentionnés pour mémoire.

La classification des sites pollués présentés dans le tableau 5.1 peut évoluer : un site peut changer de catégorie s'il est assaini ou si un assainissement complémentaire est décidé.

On trouvera dans l'Inventaire géographique des informations complémentaires sur les sites évoqués, dont 9 font l'objet de fiches détaillées car des déchets y sont entreposés à fin 2007.

On note que la liste est relativement restreinte, au regard par exemple de la liste des sites pollués par des produits chimiques telle qu'elle peut être tenue à jour par le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT) au travers de l'inventaire BASOL (www.basol.environnement.gouv.fr).

Les contaminations radioactives éventuellement localisées à l'intérieur des périmètres des installations nucléaires ne sont pas répertoriées ici, dans la mesure où elles sont soumises à un strict cadre réglementaire, et ne sont donc pas considérées comme des « pollutions » au sens donné précédemment.

5.6 prospective pour la période 2008-2030

Les sites pollués assainis sont souvent des sites peu étendus sur lesquels sont situés des logements. Les volumes de déchets générés par ces assainissements sont de l'ordre de quelques dizaines de m^3 par an pour la catégorie TFA, et quelques m^3 par an pour la catégorie FA-VL. L'assainissement de friches industrielles qui reste rare est susceptible de générer des volumes de l'ordre de plusieurs centaines de m^3 de déchets TFA et plusieurs dizaines voire centaines de m^3 de déchets FA-VL.

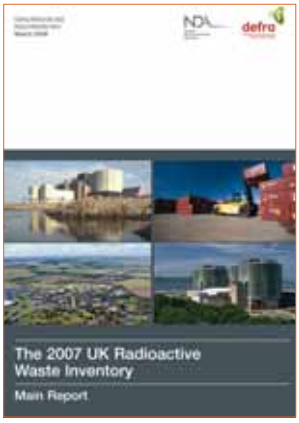
L'Inventaire national retient par hypothèse une production prévisionnelle d'environ 150 m^3/an de déchets pour chacune des catégories FA-VL et TFA. Cette estimation est particulièrement fragile, car elle est très dépendante du type d'action qui serait décidé pour chaque site.

Tableau 5.1 : liste des sites pollués, ou anciennement pollués

Environnement	Nom du site	État Fin 2007	Propriétaire
Terrain industriel en friche	• Ganagobie (04)	A	Isotopchim
	• Pargny-sur-Saulx (bâtiments) (51)	A	Orflam Plast
	• Pargny-sur-Saulx (berges) (51)	C	Orflam Plast
	• Saint-Nicolas-d'Aliermont (76)	C	Bayard
	• Itteville-Vert-le-Petit/ Le Bouchet (ancienne INB) (91)	B	SNPE
Terrain industriel partiellement ou totalement occupé par des installations en exploitation	• Boucau (64)	B	Reno
	• Colombes (92)	A	Sol essai
	• Romainville (93)	C	Aventis
	• Beauchamp (95)	C	Lumina
	• Saint-Clair-du-Rhône (Roches) (38)	C	Rhodia chimie
	• La Rochelle (17)	C	Rhodia Electronics
	• Serquigny (27)	B	Atofina
	• Saint-Nicolas-d'Aliermont (76)	C	Couaillet Mauranne
	• Besançon (25)	C	Lip
	• La Roche de Rame (05)	C	Planet
	• Pierrelatte (26)	C	Radiacontrôle
	• Wintzenheim (68)	B	Jaz
	• Valognes (50)	C	AREVA
	• Donges (44)	C	Total Fina Elf
	• Bonneuil-sur-Marne (94)	C	Port autonome de Bonneuil
	• Rogerville (76)	B	Port autonome du Havre
	• Grand-Couronne (76)	C	Grande Paroisse
Site historique lié à la production/mise en œuvre de radium	• Nogent-sur-Marne (94)	A	Ex-groupe scolaire
	• Gif-sur-Yvette (91)	A*	Adresse privée (Lotissement)
	• Ile-Saint-Denis (93)	A	Charvet
	• Ile-Saint-Denis (berges) (93)	A	Voies navigables de France
	• Arcueil (94)	A	Université de Paris VI
	• Clichy (92)	A	Port autonome + DDE
	• Aubervilliers (93)	C	AFTRP
	• Paris 5e	C	Adresse privée
	• Paris 5e	A	Adresse privée
	• Paris 7e	C	Adresse privée
	• Paris 8e	C	Adresse privée
	• Paris 8e	A	Adresse privée
	• Paris 8e	C	Adresse privée
	• Paris 10e	C	Adresse privée
	• Paris 16e	A	Adresse privée
	• Salagnac (24)	C	Cité de Clairvivre
Maison particulière ou propriété privée	• Nogent-sur-Marne (94)	A	Yab
	• Gif-sur-Yvette (91)	A	Federal Mogul
	• Asnières-sur-Seine (92)	C	Adresse privée
	• Bandol (83)	A	Adresse privée
	• Bandol (83)	A	Adresse privée
	• Bandol (83)	C	Adresse privée
	• Paris 15e	C	Adresse privée
	• Colombes (92)	C	Lumina
	• Annemasse (74)	A	Adresse privée
	• Paris 14e	A	Adresse privée
	• Huningue (68)	A	Adresse privée
	• Chivres (21)	A	Adresse privée
Terrain militaire	• Arcueil (94)	B	DGA
	• Vaujours (93)	C	CEA/DAM
Divers	• Aubervilliers (93)	A	Société Budin
	• Marseille (13)	A	Adresse privée
	• Marnaz (74)	A	Adresse privée
	• Gruissan (11)	C	INRA
	• Vert-le-Petit (Le Bouchet-Ile verte) (91)	C	CEA
	• Opoul Périllos (66)	C	Mairie
	• Basse Ham (57)	C	Établissements Wittman
	• Orsay (91)	A	Faculté d'Orsay

* Ce lotissement comporte un ensemble de lots. Trois d'entre eux restent à assainir à fin 2008.

les inventaires des déchets radioactifs à l'étranger



6.1 ROYAUME-UNI

Au Royaume-Uni un inventaire est réalisé tous les 3 ans par la nouvelle autorité de démantèlement nucléaire, la NDA, en partenariat avec le ministère de l'Environnement, de l'Alimentation et des Questions rurales. La dernière version en vigueur, parue en 2008, constitue l'Inventaire 2007.
Cet Inventaire dresse l'état des déchets existant au 1er avril 2007 et présente l'ensemble des déchets à venir au Royaume-Uni correspondant aux déchets engagés. L'Inventaire comprend des informations sur les quantités, les types et les caractéristiques des déchets. Les prévisions sont fondées sur des hypothèses diverses de production d'électricité, de démantèlement et d'autres opérations.
À l'exception du stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte situé près de la commune de Drigg, non loin de Sellafield, aucune installation ne contient de déchets radioactifs autres que ceux produits sur l'installation.
L'Inventaire 2007 a porté sur l'examen de 1 269 filières de déchets et a inclus les activités de la Défense. Il prend en compte les déchets produits ou prévus situés principalement sur leur lieu de production et qui n'ont pas fait l'objet d'un stockage définitif. L'Inventaire ne recense donc que les déchets considérés comme entreposés ou à venir. Il ne recense pas les 800 000 m^3 de déchets stockés à Drigg.
Les volumes de déchets enregistrés dans l'Inventaire correspondent principalement à l'état dans lequel ils se trouvent au moment de leur prise en compte, c'est-à-dire celui qu'ils occupent dans la cuve (pour les liquides devant être traités), les alvéoles, les silos, les fûts etc. qui les contiennent.

6.2 SUISSE

Dans un contexte d'activité nucléaire relativement modeste, la Suisse, à travers la Nagra (Société coopérative pour le stockage des déchets radioactifs), a compilé un premier inventaire de ses déchets en 1984. Mise à jour en 1994, puis en 2008, la publication reflète le contenu de la base de données MIRAM (« Inventaire-type des matières radioactives »), établie pour répondre aux besoins des organismes chargés de la gestion des déchets. L'Inventaire recense l'ensemble des matières considérées comme déchets selon la classification suisse et ne comprend par conséquent ni déchets TFA, ni matières valorisables. Il est composé d'un rapport principal complété par 142 fiches signalétiques correspondant chacune à un type de déchets. L'ensemble est disponible sur le site internet de la Nagra (www.nagra.ch) où il peut être consulté par un large public. À l'avenir, il est prévu de publier une mise à jour tous les deux ans.

6.3 BELGIQUE

L'Ondraf (l'homologue de l'Andra) a publié en mars 2008 son deuxième Inventaire quinquennal portant sur la période 2003-2007. Il répertorie 824 sites comportant des déchets radioactifs, des matériaux radioactifs issus des démantèlements et des matières nucléaires. Il établit une prévision des volumes de déchets jusqu'en 2070, date à laquelle l'ensemble des installations nucléaires existantes seront démantelées. L'Inventaire répertorie des sites non nucléaires comme celui d'Olen qui contient les déchets radifères de traitement de minerais, ou encore des installations qui détiennent des sources radioactives.
L'Inventaire réalisé en Belgique vise à assurer que les moyens financiers nécessaires existent bien pour permettre la prise en charge de l'ensem-

ble des déchets par ceux qui les ont produits. Il s'agit d'éviter qu'ils ne se transforment en passif si ces moyens étaient insuffisants ou manquants. L'édition 2008 développe en particulier des aspects méthodologiques d'évaluation des moyens financiers et des provisions qui leur sont associées.
La mission confiée à l'Ondraf d'inventaire des passifs nucléaires, définie par l'article 9 de la loi-programme du 12 décembre 1997, consiste à :

- établir un répertoire de la localisation et de l'état de toutes les installations nucléaires et de tous les sites contenant des substances radioactives, où une substance radioactive est « *toute substance contenant un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée pour des raisons de radioprotection* » ;
- estimer leur coût de déclassement et d'assainissement ;
- évaluer l'existence et la suffisance de provisions pour le financement de ces opérations futures ou en cours ;
- mettre cet Inventaire à jour tous les cinq ans.

L'Inventaire est déclaratif, laissant aux exploitants la responsabilité des informations transmises à l'Ondraf. Le rapport d'inventaire n'est pas public dans la mesure où il contient des données financières des exploitants que certains estiment sensibles d'un point de vue commercial. Une synthèse de l'Inventaire est disponible sur le site internet d'Ondraf (www.nirond.be).

6.4 ALLEMAGNE

En 2001 le Parlement allemand a décidé de la réalisation d'un Plan national de gestion des déchets radioactifs comportant l'état, le traitement envisagé et le mode de gestion considéré pour les différents types de déchets radioactifs. En raison de la fin prématurée de la 15e législature, la mise en œuvre de ce Plan n'a pu être poursuivie.
Indépendamment de la préparation du Plan national de gestion des déchets fondé sur l'Inventaire national des déchets, le bureau fédéral de radioprotection (BfS) a développé depuis 1984 une approche systématique. Il réalise la collecte et la mise à jour des données de base de l'Inventaire des déchets radioactifs, les quantités et volumes existants et des prévisions à l'horizon 2010 et 2080.
BfS procède annuellement par enquête auprès des producteurs, au moyen d'un questionnaire portant sur les quantités et les volumes des déchets produits, traités et conditionnés. Cela ne concerne que les déchets devant être stockés. Les déchets susceptibles d'être libérés (NORM), au sens de la radioprotection en Allemagne, l'uranium appauvri ainsi que l'uranium et le plutonium issus du retraitement utilisés dans la fabrication d'éléments combustibles, ne sont pas comptabilisés dans l'Inventaire.
Les données des volumes de déchets présents et futurs de l'Inventaire sont complétées par des données chimiques et toxiques qui mentionnent les compositions organiques et chimiques des déchets.
Les prévisions de production de déchets radioactifs sont établies par BfS selon un scénario qui découle de l'accord de 2000 entre le gouvernement fédéral et les producteurs d'électricité (limitation de la durée d'exploitation des réacteurs, stockage direct des combustibles usés).
La présentation publique de l'Inventaire national en Allemagne sous une forme exhaustive, détaillant tous les aspects de sa réalisation, n'existe pas encore. Elle pourrait constituer l'un des volets du futur Plan national de gestion des déchets radioactifs, dont le devenir des déchets exothermiques reste un point à résoudre.

6.5 ESPAGNE

Enresa (l'homologue de l'Andra) réalise et met à jour un Inventaire des déchets radioactifs produits en Espagne sur la base des informations fournies par les producteurs de déchets. Les premières études d'inventaire ont démarré en 1986 en même temps que le 1er Plan général des déchets radioactifs. Aujourd'hui les informations sont rassemblées dans une base de données à partir de laquelle est élaboré un document de synthèse. La dernière publication date de janvier 2006 sur la base des données au 31 décembre 2004.

L'Inventaire est principalement destiné à fournir les volumes ou les nombres d'éléments de déchets produits et entreposés sur chaque installation, ainsi que de fournir des prévisions sur les données d'inventaire à venir correspondant à la totalité des déchets qui devront être gérés en Espagne. Les données sont présentées par catégorie de producteurs. Elles comprennent les éléments combustibles, les déchets des réacteurs et celles du stockage d'El Cabril. Elles indiquent les valeurs des déchets déjà produits, celles des déchets à produire et ceux produits en Espagne dont le traitement et l'entreposage sont effectués à l'étranger. Les résidus des anciennes installations minières font aussi partie de l'Inventaire.

6.6 ÉTATS-UNIS

Plusieurs systèmes d'inventaire de déchets radioactifs existent aux États-Unis qui diffèrent selon la nature des déchets, leur origine et les organismes chargés de les réglementer : le Department of Energy (DOE) pour le secteur public y compris la Défense ou la Nuclear Regulatory Commission (NRC) pour le secteur privé. L'origine des déchets conditionne souvent leur lieu de stockage.

La NRC réalise des inventaires, à l'échelon national, pour les combustibles usés et les sources scellées principalement conçus à des fins de non prolifération et de sûreté.

Pour les autres catégories de déchets il n'existe pas de système national d'inventaire unique qui rassemble les informations de toutes les installations et des organismes de gestion des déchets.

Les déchets radioactifs sont stockés à la fois par le gouvernement fédéral et par des organismes privés. À terme, pour ces derniers, les sites de stockage seront placés sous la responsabilité des gouvernements des états ou du gouvernement fédéral.

Les spécifications des inventaires relèvent des législations de chaque état ou de l'État fédéral dans lesquels les stockages sont situés. L'Inventaire doit conserver une trace papier, à partir de sa production et pendant toute la durée du stockage.

La NRC requiert des producteurs de déchets du secteur privé des systèmes d'inventaires des déchets détenus sur les sites de stockage.

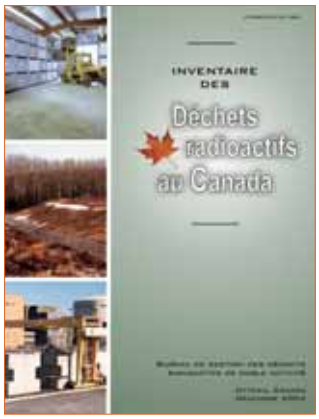
Pour le secteur public, le DOE (www.em.doe.gov) possède également ses propres systèmes d'inventaire établis sur les sites et illustrés par les exemples ci-après :

- Solid Waste Information Tracking System (SWITS), utilisé pour les déchets solides, FMA et transuraniens, du site de Hanford ;
- Integrated Waste Tracking System (IWTS) à l'Idaho National Laboratory ;
- Waste Isolation Pilot Plant Waste Information Management System (WWIS).

Souvent plus complets que d'autres homologues étrangers, ils incluent toutes les activités à l'origine des déchets radioactifs : déchets miniers, activités d'assainissement de sites et déchets dits mixtes de faible activité, comportant à la fois de la radioactivité et des résidus toxiques chimiques.

Les informations sont librement accessibles sous forme de bases de données à partir d'Internet.
Enfin le DOE réalise une synthèse des informations d'inventaire des installations nucléaires. Elle est publiée dans le rapport national, adressé à l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), en application de la Convention commune sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs.

6.7 CANADA



Le Canada publie régulièrement un Inventaire destiné à donner la localisation des déchets radioactifs, à dresser l'état des productions et des quantités accumulées. Il fournit également des prévisions de quantités qui seront produites à la date de fin de l'exploitation du parc actuel des réacteurs.

Les déchets radioactifs sont classés suivant trois catégories qui correspondent aux politiques de gestion de ces déchets mises en œuvre dans ce pays :
- déchets de combustible nucléaire ;
- déchets de faible activité ;
- résidus de traitement de minerais d'uranium.

La première catégorie concerne les grappes de combustibles des différents réacteurs de type Candu. La seconde se partage en déchets courants, qui résultent de l'exploitation et du démantèlement des installations, et en déchets historiques issus d'anciennes activités, par exemple de raffinage du radium à Port Hope. Enfin, le Canada répertorie les résidus de traitement de l'uranium sur des sites en opération, inactifs et déclassés.
Le bureau de gestion des déchets radioactifs de faible activité réalise l'Inventaire. Cette instance, chargée par ailleurs de réaliser les programmes de gestion des déchets courants et historiques, est administrée par l'organisme de recherche EACL (Énergie atomique du Canada limitée) pour le compte du ministère des Ressources naturelles.
Les données de l'Inventaire sont issues des documents réglementaires, des rapports et des informations fournies par les producteurs, les détenteurs et l'autorité de sûreté. Elles sont constituées sous la forme d'une base de données.
Deux Inventaires sont actuellement disponibles, publiés en 1999 et 2004. Le prochain sera publié en 2009.

6.8 L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (AIEA)

L'AIEA, agence de l'Organisation des nations unies, met à la disposition du public une base de données, appelée « NEWMDB », qui est en premier lieu une base d'inventaire des déchets radioactifs dans différents pays. Les données sont mises à jour régulièrement et leurs présentations tendent à se normaliser. Chaque pays dispose généralement de sa propre classification de déchets radioactifs qui est convertie selon une classification commune, proche de celle de la France. Les volumes indiqués restent en revanche ceux choisis par le pays concerné : volumes bruts, traités, conditionnés, entreposés ou encore prêts à être stockés.
Tous les trois ans et dernièrement en 2008 les pays membres publient sous l'égide de l'AIEA un rapport national dans le cadre de la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs. Une importante part de ces rapports est consacrée aux inventaires des déchets radioactifs et des combustibles usés existants mis à jour à l'occasion des publications.

annexes

annexe 1

la gestion des déchets radioactifs français et étrangers issus des combustibles usés dans les installations Areva de La Hague

le traitement recyclage des combustibles usés étrangers à La Hague

1

Démarrée en 1966, la première usine de traitement de combustibles usés de La Hague, UP2, a traité de l'ordre de 5 000 tonnes de combustibles usés de la filière française UNGG (uranium naturel graphite gaz, des réacteurs des centrales de Chinon, Saint-Laurent-des-Eaux et Bugey), à l'instar de l'usine UP1 de Marcoule (démarrée en 1957) qui a traité des combustibles de même nature.

Au début des années 1970, la France a décidé de se doter d'un parc électronucléaire de type eau légère, au combustible à uranium enrichi. L'usine UP2 de La Hague s'est alors adaptée à cette évolution (ateliers dits HAO en particulier), et sa capacité a permis de proposer cette prestation de traitement également à des clients étrangers, avec lesquels des contrats ont été signés à partir de 1971. Avec le démarrage des usines UP3 (1990) et UP2-800 (1994), ce sont 24 000 tonnes de combustibles usés de type eau légère qui ont été traitées pour recyclage à La Hague à fin 2008, dont environ 58 % pour la France, 23 % pour des clients allemands, 12 % pour des clients japonais, et le reste pour des clients belges, suisses et néerlandais.

Dès 1977, AREVA a fait figurer dans les contrats signés avec les électriciens étrangers des clauses de réexpédition des déchets issus des combustibles usés et conditionnés à l'usine de La Hague.
512 tonnes de combustibles usés étrangers ont été traitées et recyclées au titre de contrats antérieurs à 1977, ne comportant donc pas ce type de clause, soit 5% de la quantité de combustibles usés étrangers recyclés à La Hague à ce jour (et 2% de la quantité de combustibles eau légère recyclés à La Hague).
En 1991, le Parlement a adopté une disposition interdisant le stockage de manière définitive de déchets issus de combustibles usés traités en France [I].
L'article L. 542-2 du code de l'environnement (art.8 de la loi du 28 juin 2006 [II]) encadre le traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs étrangers. Désormais, dans une volonté de transparence, l'introduction de combustibles usés ou de déchets radioactifs en France en vue de leur traitement est soumise à la signature d'accords intergouvernementaux publiés au Journal officiel de la République française (qui précise les périodes prévisionnelles de réception et de traitement de ces substances).
Cet article requiert également que l'exploitant d'installation de traitement de combustibles usés remette un rapport (rendu public sur internet) avant le 30 juin de chaque année aux ministres concernés (le premier a été réalisé en 2008), comportant l'inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que des matières et des déchets radioactifs qui en sont issus après traitement.
Dans le cadre des dispositions de cette loi du 28 juin 2006 (codifiées aux articles L. 542-2 et L. 542-2-1 du code de l'environnement) et du décret n°2008-209 du 3 mars 2008 [III], AREVA a mis en place un système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les installations nucléaires de base (INB) de La Hague, approuvé par l'arrêté du 2 octobre 2008 [IV]. Il s'agit du système EXPER (pour « EXPEdition des Résidus »), outil destiné à *« répartir, parmi les déchets issus du traitement, ceux qui doivent être expédiés hors du territoire national et ceux qui relèvent d'une gestion à long terme sur le territoire national et d'attribuer à chaque destinataire la part qui lui revient »* [III]. Les principes de répartition exigés par le décret d'application n°2008-209 sont détaillés au paragraphe 3 de cette annexe.

« Est interdit le stockage en France de déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que celui des déchets radioactifs issus du traitement de combustibles usés et de déchets radioactifs provenant de l'étranger. » Art. L.542-2 du code de l'environnement

« L'introduction à des fins de traitement ne peut être autorisée que dans le cadre d'accords intergouvernementaux et qu'à la condition que les déchets radioactifs issus après traitement de ces substances ne soient pas entreposés en France au-delà d'une date fixée par ces accords. L'accord indique les périodes prévisionnelles de réception et de traitement de ces substances et, s'il y a lieu, les perspectives d'utilisation ultérieure des matières radioactives séparées lors du traitement. ». Art L 542-2-1 du code de l'environnement

[I] Loi n°91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, dite loi Bataille.

[II] Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Les dispositions de cette loi ont été codifiées dans le code de l'environnement.

[III] Décret 2008-209 du 3 mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.

[IV] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague.

le conditionnement des déchets radioactifs ultimes issus des combustibles usés

2

Le traitement-recyclage des combustibles usés à La Hague consiste d'une part à séparer les matières (uranium et plutonium) et d'autre part les déchets radioactifs ultimes qui représentent l'essentiel de la radioactivité du combustible usé. Les matières sont recyclées sous forme de combustibles à l'uranium ou au plutonium (combustible MOX) afin d'être utilisées dans les réacteurs des électriciens. Les déchets radioactifs ultimes, quant à eux, sont conditionnés sous forme de colis, appelés résidus par AREVA permettant leur entreposage et leur transport dans les conditions de sûreté requises. Le conditionnement des déchets radioactifs ultimes est également conçu pour assurer de hautes performances de durabilité et de confinement à long terme en vue de leur gestion ultérieure.

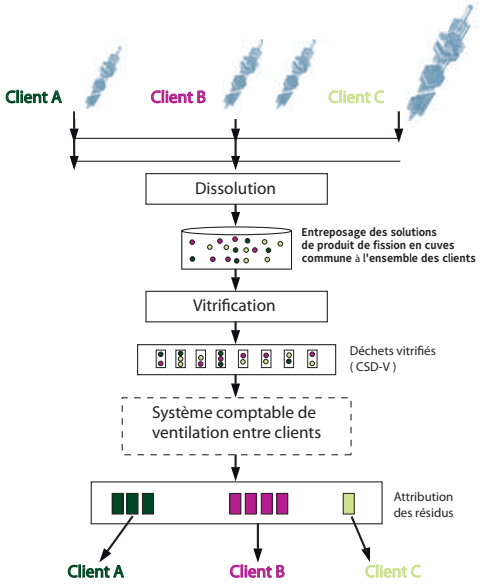
« Les déchets ultimes contenus dans les combustibles usés traités dans les installations de La Hague appartiennent à deux catégories : les produits de fission et les déchets de structure.

- ***Les produits de fission*** *issus de la combustion nucléaire en réacteur sont séparés dans l'usine de La Hague des matières valorisables, puis calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le verre est coulé dans un conteneur standard pour constituer des colis de déchets vitrifiés, ce qui permet ainsi de conditionner sous forme compacte, durable et confinante la quasi-totalité de l'activité contenue dans les déchets ultimes. Tous les déchets concernés sont des déchets de haute activité (HA).*
- ***Les déchets de structure*** *sont les composants métalliques (tubes de gainage, plaques) assurant le maintien et le confinement du combustible, ainsi que les pièces d'assemblage (grilles, embouts) de ces premiers composants. Dans l'usine de La Hague, ils sont compactés et conditionnés en conteneurs standards pour constituer des colis de déchets compactés. Tous les déchets concernés sont des déchets de moyenne activité et à vie longue (MA-VL).*

L'expédition de colis de déchets à leurs propriétaires étrangers au titre du traitement de leurs combustibles usés se fait donc en standard sous ces deux formes. » [IV]

Les produits de fission sont conditionnés en colis CSD-V (Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés) et les déchets de structure en colis CSD-C (Conteneurs Standards de Déchets Compactés).

Le fonctionnement du procédé en continu ne permet pas à AREVA de discriminer les flux de matière pour ses différents clients. En revanche, la comptabilité des substances radioactives en entrée et en sortie permet un suivi client par client. Le schéma ci-après présente les principes du système d'attribution des colis de déchets et illustre le cas de la gestion mutualisée des produits de fission.



Système d'attribution des résidus (colis de déchets) aux clients d'AREVA La Hague : cas des colis de déchets vitrifiés

[IV] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague.

3 le système de gestion comptable mis en œuvre à La Hague : le système EXPER

« Un exploitant qui assure ou envisage d'assurer le traitement de combustibles usés ou de déchets radioactifs provenant du territoire national et de l'étranger met en place des dispositifs permettant, eu égard aux technologies de traitement mises en œuvre, de répartir, parmi les déchets issus du traitement, ceux qui doivent être expédiés hors du territoire national et ceux qui relèvent d'une gestion à long terme sur le territoire national et d'attribuer à chaque destinataire la part qui lui revient. »

Décret 2008-209 du 3 mars 2008, article 2

Comme expliqué précédemment, AREVA a mis en place le système EXPER dans le cadre des dispositions légales et réglementaires [II], [III] et [IV]. L'arrêté du 2 octobre 2008 le définit comme suit : *« il porte exclusivement sur le traitement des combustibles usés. Il a pour but :*

a) de régir l'attribution des colis de déchets conditionnés aux clients ;

b) de suivre les échéanciers réalisés et prévisionnels, de la réception des combustibles usés à leur traitement, jusqu'à l'expédition des colis de déchets.

Ce système fait ainsi suite au système d'unités de résidus (ou système « UR[1] ») mis en place par AREVA au début des années quatre-vingt-dix. Il en reprend l'indicateur d'activité et lui ajoute un indicateur de masse ». [IV]

3.1 Principes de répartition du système EXPER

Les principes de répartition des déchets issus des combustibles usés après traitement ou de déchets provenant de l'étranger sur lesquels repose EXPER sont les suivants :

- égalité de l'activité radioactive entrante et sortante ;
- égalité de la masse des substances radioactives entrantes et sortantes.

Ces égalités portent sur les déchets à comptabiliser pour expédition.

Ce système comptable permet donc de déterminer :

- **l'activité** à expédier à chaque propriétaire. Celle-ci est exprimée en **UAR** (unité d'activité des résidus) et correspond à la quantité de néodyme, un produit de fission contenu dans les déchets ultimes, choisi pour sa représentativité de l'activité globale et sa capacité à être mesuré précisément ;

[II] Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Les dispositions de cette loi ont été codifiées dans le code de l'environnement.

[III] Décret 2008-209 du 3 mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.

[IV] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague.

1 Présenté dans l'annexe 1 de l'Inventaire national 2006.

- la **masse** à expédier, qui est exprimée en **UMR** (unité de masse des résidus) et qui correspond à la masse (en kg) des structures métalliques des combustibles usés.

« Ces déterminations sont réalisées notamment au niveau des combustibles usés en entrée et des colis de déchets en sortie. » [IV]

Dans son article 3, le décret du 3 mars 2008 [III] précise qu'*« un exploitant qui assure ou envisage d'assurer le traitement de combustibles usés ou de déchets radioactifs provenant de l'étranger doit disposer d'un système de suivi des entrées de combustibles usés et de déchets radioactifs et des sorties de déchets radioactifs à expédier vers l'étranger. Ce système précise les quantités et la nature physique des substances par provenance, tient le décompte des déchets traités et organise leur attribution à chaque destinataire. Il enregistre les dates de réception de ces substances sur le territoire national, les périodes de leur traitement et les dates de sortie des déchets du territoire national. Il est adapté aux conditions d'application de chaque accord intergouvernemental ».*

3.2 Mécanismes d'attribution des colis

Les attributions des colis aux clients sont effectuées dans le cadre de ce système.

« Avant la phase d'expédition, l'identification des colis concernés est appelée attribution. Le principe mis en place est l'attribution aux clients de colis de déchets correspondant en activité et en masse aux combustibles usés entrants, parmi l'ensemble des colis disponibles pour cette attribution. L'attribution est réalisée préalablement à l'expédition. Avant l'expédition, le client est propriétaire (créditeur) d'unités de comptes UAR et UMR. La règle générale est l'interchangeabilité des colis au sein de chaque catégorie. Ainsi, tout colis standard produit conformément à une spécification acceptée par le client lui est attribuable. La correspondance entre UAR (ou UMR) entrantes et sortantes est arrêtée à la fin des contrats (...) » [IV].

3.3 Gestion des comptes des clients

L'arrêté [IV] précise qu'AREVA *« tient à jour pour chaque client de l'usine de traitement de La Hague des comptes sur lesquels lui sont allouées des UAR et des UMR. Ces comptes sont crédités et débités lors des différentes étapes du processus de traitement des combustibles usés.*

Au plus tard au moment du début du traitement physique du combustible usé, les comptes du client sont crédités des unités d'activité et de masse correspondantes.

Au moment de l'expédition des colis (...), les nombres d'unités d'activité et de masse sont débités des comptes du client ».

Audits du système comptable

« La mise en œuvre du système EXPER est effectuée au moyen de procédures qui définissent son fonctionnement, au sein du système qualité de l'usine de traitement de La Hague. Ces procédures de gestion reçoivent l'agrément des clients d'AREVA NC concernés. Elles donnent lieu à l'établissement d'une comptabilité par année calendaire pour les clients. Ceux-ci peuvent mandater un organisme indépendant du groupe AREVA pour vérifier la mise en œuvre correcte des procédures de gestion et certifier annuellement leurs comptes. L'application de ces procédures est auditée chaque année par un organisme dédié pour le compte du ministère chargé de l'Énergie. »

Arrêté du 2 octobre 2008 [IV]

[III] Décret 2008-209 du 3 mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.

[IV] Arrêté du 2 octobre 2008 portant approbation du système d'inventaire et d'expédition des déchets après traitement des combustibles usés en provenance de l'étranger dans les INB de La Hague.

les expéditions de déchets aux clients étrangers

4

4.1 Déchets visés à l'article L 542-2-1 du code de l'environnement

Dans le cas de La Hague, ces déchets, qui sont issus des combustibles usés, sont conditionnés en colis de type CSD-V et CSD-C.
En conformité avec l'arrêté du 2 octobre 2008 [IV], les colis CSD-V et CSD-C sont expédiés, respectivement, au titre de l'activité et de la masse des combustibles usés importés.

Colis de type CSD-V (à gauche) et de type CSD-C (à droite)

Retour des déchets vitrifiés au Japon

Colis de type CSD-V

Le processus d'expédition des résidus aux clients étrangers a débuté en 1995 par les CSD-V, dans lesquels l'essentiel de l'activité des déchets ultimes contenus dans les combustibles usés est conditionné.

Comme cela est présenté dans le tableau 1, au 31 décembre 2007, la grande majorité des CSD-V (parmi le nombre total de colis produits ou à produire) revient à la France, compte tenu du fait que l'essentiel (79 %) de l'activité des combustibles étrangers traités a été expédié. Concernant les CSD-V revenant aux clients étrangers, il faut noter que les expéditions vers le Japon et la Belgique sont déjà soldées.

Emballage TN28 utilisé pour transporter les CSD-V vers la Belgique, les Pays-Bas et le Japon

Les clients étrangers entreposent actuellement les CSD-V livrés :

- soit en puits, dans des installations similaires à celles de La Hague (Rokkasho-Mura au Japon, Mol en Belgique, HABOG aux Pays-Bas, projet Almacen Temporal Centralizado ou ATC en Espagne) ;
- soit dans des emballages de transport et d'entreposage (Gorleben en Allemagne, Zwilag en Suisse).

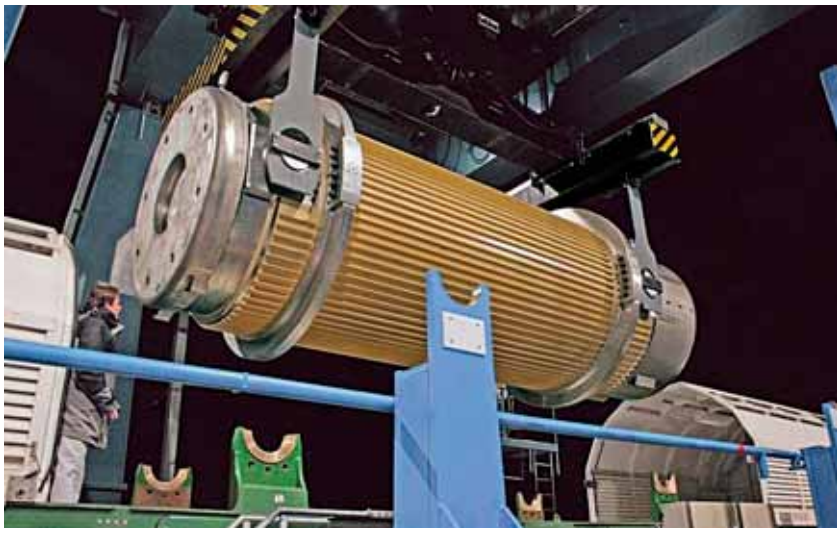
L'installation des déchets vitrifiés HABOG (pour « déchets radioactifs de haute activité » soit « Hoogradioactief Afval Behandelings - en Opslag Gebouw ») de COVRA aux Pays-Bas

Colis de type CSD-C

Les expéditions des premiers CSD-C sont prévues à partir de 2009.
Les estimations des parts revenant aux propriétaires français et de celles revenant aux clients étrangers sont présentées dans le tableau 1.

Pour les colis CSD-C, la part des colis restants à expédier est plus importante que pour les colis vitrifiés, dans la mesure où la priorité à été donnée par AREVA à l'expédition de l'activité, avant celle de la masse.

Coupe d'un colis CSD-C



Emballage TN81 utilisé pour transporter les colis CSD-C

Tableau 1 : estimation de la part de colis CSD-V et CSD-C revenant à chaque État (au 31 décembre 2007)

	Nombre total de colis entreposés	Estimation du nombre total de colis à produire au titre des déchets non conditionnés entreposés	Quantité totale de colis produits ou à produire au titre des déchets entreposés		Estimation de la part revenant aux propriétaires français au titre des combustibles usés traités avant le 31/12/07 (%)	Estimation de la part revenant à chaque État au titre des combustibles usés traités avant le 31/12/07 (%)							
			En nombre de colis	En volume (m^3)		Allemagne	Australie	Belgique	Espagne	Italie	Japon	Pays-Bas	Suisse
CSD-V	9 088	603	9 691	1 696	87,7	9,3	< 0,01	0	0,7	0	0	0,1	2,2
CSD-C	6 089	8 186	14 275	2 612	50,9	28	0	3	0	0	12,9	1,5	3,7

Ce tableau présente, conformément aux textes en vigueur :

- les quantités de colis de type CSD-V et CSD-C déjà produits et entreposés, ainsi que celles des colis à produire, au titre des déchets non conditionnés entreposés au 31 décembre 2007 ;
- l'estimation de la part France et des parts revenant à chaque État, de CSD-V et CSD-C (déchets radioactifs visés à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement) produits ou à produire, exprimées en proportion par rapport au nombre total de colis (produits ou à produire à partir des déchets entreposés au 31 décembre 2007).

Nota :

L'estimation du nombre total de colis à produire au titre des déchets non conditionnés entreposés au 31 décembre 2007 porte sur les combustibles déjà cisaillés à cette date. Au 31 décembre 2007, des combustibles en provenance de l'étranger se trouvaient dans les piscines de La Hague. Il s'agit de 6,2 tML de combustibles usés italiens, reçus en 2007 non encore cisaillés, au titre desquels, AREVA devra expédier 6 colis CSD-V et 6 colis CSD-C.

4.2 Autres déchets

Bien que les déchets radioactifs décrits dans cette section ne soient pas visés à l'article L. 542-2-1 du code de l'environnement, il est apparu néanmoins utile de les présenter.

En effet, pour certains contrats, AREVA dispose de droits d'expédition d'autres types de colis que ceux décrits précédemment. Les scénarios

en vigueur d'expédition de ces déchets concernent en premier lieu des colis de bitumes (les radioéléments sont confinés dans le bitume), des colis CSD-B (les radioéléments y sont vitrifiés) ou encore des colis « C5 » (les radioéléments y sont bloqués dans un matériau inerte). Ces types de colis sont produits pour conditionner certains flux de radioéléments du procédé.
Actuellement, ces radioéléments sont directement envoyés à la vitrification. Toutefois, une part des déchets produits est encore sous forme brute (en silos ou cuves) et fait partie des programmes de reprise et conditionnement des déchets « anciens » en cours de mise en œuvre. Le volume indiqué dans le tableau 2 est celui du scénario d'expédition actuel.

Tableau 2 : estimation de la part en volume des colis d'autres déchets (colis de déchets produits au titre des traitements internes de flux de radioéléments conditionnés en fûts de bitume, colis standards CSD-B ou colis C5) revenant aux producteurs français à la date du 31 décembre 2007

	Nombre total de colis entreposés	Estimation du nombre total de colis à produire au titre des déchets non conditionnés entreposés	Volume total de colis produits ou à produire au titre des déchets entreposés (m^3)	Estimation de la part en volume revenant aux propriétaires français (%)
CSD-B	0	381	7 942	93,2
Fûts de bitume	10 912	0		
Colis « C5 »	0	20 300		

Ce tableau présente les quantités des « autres déchets » concernés par des expéditions selon les scénarios actuels d'AREVA. Comme précédemment, soit ces colis sont déjà produits, soit ils restent à produire (cas des nouvelles filières CSD-B et C5).

Enfin, pour un contrat relatif à un ancien réacteur de type « uranium naturel graphite gaz » (appartenant à la première génération de réacteurs nucléaires) sont spécifiées des clauses permettant l'expédition de déchets cimentés. La référence actuelle est de 177 fûts cimentés à expédier. Le conditionnement définitif peut toutefois évoluer vers des colis CSD-C.

annexe 2

les déchets engagés

L'Inventaire national n'a pas pour mission de définir des orientations de politique énergétique ; cette responsabilité appartient aux pouvoirs publics. Toutefois, comme dans l'Inventaire national 2006, il a été décidé pour cet Inventaire de présenter, selon deux scénarios simples, ce que pourraient être les volumes de déchets produits par l'ensemble des installations actuelles jusqu'à leur fin de vie. On désigne ces déchets par le terme de « déchets engagés ». Les estimations réalisées par l'Andra sur la base des données fournies par les producteurs dans le cadre de cet exercice, sont des ordres de grandeur, qui reposent sur des hypothèses qui pourront évoluer au fil des inventaires.

Comme indiqué dans le chapitre 3, les scénarios retenus dans l'Inventaire national pour cet exercice sont au nombre de 2 :

- scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire avec traitement de tous les combustibles sauf certains combustibles civils (combustibles EL4 du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis, combustibles du réacteur de recherche Osiris, divers combustibles expérimentaux, combustibles de la filière de première génération UNGG (uranium naturel graphite gaz) non traités à ce jour. Ce scénario est celui retenu par l'Inventaire national pour évaluer les quantités de déchets prévisionnels à fin 2020 et fin 2030 (voir sous-chapitre 3.2) ;
- scénario 2 : non renouvellement de la production électronucléaire conduisant consécutivement à l'arrêt du traitement des combustibles et au stockage direct des combustibles usés résiduels. Comme indiqué au chapitre 3, ce scénario n'a pas actuellement de réalité industrielle ; il est purement illustratif.

Il est rappelé, que ces deux scénarios reposent notamment sur les hypothèses suivantes :

- les réacteurs électronucléaires « engagés » sont au nombre de 59 : 58 réacteurs REP existants et 1 réacteur EPR à partir de 2013 ;
- la durée d'exploitation est identique pour tous ces réacteurs (40 ans) ;
- le recyclage des matières issues du traitement des combustibles permet l'alimentation de 4 réacteurs en combustibles à l'uranium recyclé (URE) et de 22 réacteurs en combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX).

Dans le corps du présent rapport, et en particulier au chapitre 3, ont déjà été présentés en détail les volumes de déchets attendus à l'horizon 2030 pour le scénario de poursuite de la production électronucléaire (scénario 1) et les volumes de déchets de démantèlement postérieurs à cette date.

Dans le scénario 1, comme indiqué au chapitre 3, la production électronucléaire est stabilisée à 430 TWh/an nets (+ 13 TWh/an à partir de 2013, pour prendre en compte l'EPR de Flamanville). Cela suppose le remplacement progressif du parc actuel par un nouveau parc dont les conditions d'exploitation notamment en termes de combustibles sont voisines de celles d'aujourd'hui. Ce nouveau parc consomme les matières non recyclées dans le premier parc, mais les déchets qu'il produit ne sont pas comptabilisés car considérés comme non engagés à fin 2007.

Dans le scénario 2, la production électronucléaire décroît à compter de 2017 (arrêt du premier réacteur 900 Mégawatts) et l'option retenue consiste à ne pas séparer de plutonium qui serait sans emploi ultérieur. Ainsi, le traitement des combustibles cesse en 2019, date à laquelle (i) on dispose d'une quantité de plutonium suffisante pour alimenter les tranches MOX jusqu'au terme de leur durée de vie et (ii) les combustibles usés non traités deviennent des déchets.

Scénario 1 : poursuite de la production électronucléaire

Déchets produits par l'exploitation et le démantèlement des réacteurs et des installations de l'amont et de l'aval du cycle

Le scénario 1 prend en compte les flux de déchets qui seront produits au-delà de 2030 par année de fonctionnement supplémentaire du parc d'installations nucléaires encore en exploitation à cette date.

Au delà de 2030, il reste environ 18 000 tonnes de combustibles à traiter (MOX et URE en mélange dans les combustibles UOX), conduisant ainsi à la production de 2 850 m^3 de colis de déchets vitrifiés HA (ratio de production de 0,90 CSD-V/t) et à 2 900 m^3 de déchets de structure compactés MA-VL (0,85 CSD-C/t).

À cela s'ajoutent (hors démantèlement) :

- pour les colis de déchets MA-VL, 260 m^3 liés à l'exploitation des réacteurs REP encore en service et 850 m^3 liés aux activités de l'aval du cycle (exploitation de l'usine de traitement des combustibles usés) ;
- pour les colis de déchets FMA-VC, 4 600 m^3 produits par l'exploitation et la maintenance des réacteurs REP encore en service, 1 000 m^3 issus des activités de l'amont du cycle (fabrication des combustibles) et 12 000 m^3 induits par les activités de l'aval du cycle (traitement des combustibles usés) ;
- pour les déchets TFA, 3 000 m^3 pour l'exploitation et la maintenance des réacteurs, 16 000 m^3 pour les activités de l'amont et 10 000 m^3 pour les activités de l'aval.

En ce qui concerne le démantèlement, le programme relatif aux centrales EDF de première génération ne sera pas achevé en 2030. On considère toutefois que les empilements, réflecteurs en graphite des réacteurs UNGG auront été démantelés, donc que la totalité des déchets FA-VL d'EDF est déjà comptabilisée avant 2030. On a par ailleurs supposé (voir chapitre 3) que le démantèlement des centrales REP actuelles ne sera engagé qu'au-delà de 2030 et conduira pour EDF à 6 000 m^3 de déchets MA-VL, 250 000 m^3 de déchets FMA-VC et 470 000 m^3 de déchets TFA.
Les démantèlements des usines UP2-800 et UP3 de La Hague (50) et de l'usine Melox de Marcoule[1] (30) débuteront également après 2030. Leur volume est évalué par AREVA à 3 000 m^3 de déchets MA-VL, 23 200 m^3 de déchets FMA-VC et 30 500 m^3 de déchets TFA[2].
Pour le démantèlement des installations de l'amont du cycle, AREVA a également procédé à des estimations qui conduisent à 5 000 m^3 de déchets FMA-VC et 4 000 m^3 de déchets TFA.

Déchets d'exploitation et de démantèlement produits par les autres activités

Les déchets issus des secteurs autres que l'électronucléaire induisent des déchets HA et MA-VL relatifs principalement aux activités de recherche du CEA civil et aux activités du CEA/DAM. On retient par convention pour ces secteurs d'activité, une date d'arrêt d'exploitation en 2040.

Les déchets HA issus du traitement des combustibles employés dans le cadre de ces activités sont négligeables devant les mêmes déchets produits par le secteur électronucléaire et représentent au plus quelques m^3 par an. On comptabilise environ 50 m^3/an (soit 550 m^3 entre 2030 et 2040) de déchets divers MA-VL issus de ces activités hors démantèlement.

Par ailleurs, on peut évaluer en première approche que, hors démantèlements, 2 000 m^3/an (soit 22 000 m^3 entre 2030 et 2040) de déchets FMA-VC et 2 000 m^3/an (soit 22 000 m^3 entre 2030 et 2040) de déchets TFA, seront également produits par les activités de recherche du CEA civil et du CEA/DAM.

1 Les déchets de démantèlement de l'usine UP1 ne sont pas comptabilisés dans cette estimation mais dans celle relative aux installations du CEA civil.

2 Ces déchets FMA-VC et TFA ont été évalués en tonne par AREVA, les volumes sont évalués sur la base d'un ratio défini par l'Andra.

Les démantèlements après 2030 des installations sous responsabilité du CEA civil (dont usine UP1 (fin du démantèlement), réacteur G1 de Marcoule (30)) devraient produire environ 750 m³ de déchets MA-VL, 5 700 m³ de déchets FA-VL, 32 000 m³ de déchets FMA-VC et 115 000 m³ de déchets TFA.

Les démantèlements après 2030 des installations sous responsabilité du CEA/DAM (réacteurs CELESTIN, G2, G3 et Atelier tritium de Marcoule (30), installations de Valduc (21)) devraient produire environ 6 000 m³ de déchets FA-VL, 6 000 m³ de déchets FMA-VC et 20 000 m³ de déchets TFA.

On peut aussi supposer que l'industrie chimique utilisant des matériaux naturellement radioactifs continuera à engendrer des déchets radifères FA-VL, à hauteur de 100 m³/an, jusqu'à la date conventionnelle de 2040.

Le démantèlement des installations du Centre de stockage FMA de l'Aube devrait par ailleurs produire environ 200 m³ de déchets FMA-VC et 340 m³ de déchets TFA, selon les estimations actuelles.

Enfin, la médecine, l'industrie classique, la recherche hors CEA, la Défense nationale (DGA, SSA, armées, gendarmerie) devraient également continuer à produire des déchets radioactifs au-delà de 2030. On note toutefois, dans le domaine de la médecine et de l'industrie, une volonté de réduire les usages de la radioactivité (ainsi, le GESI, organisation regroupant les fabricants de détecteurs de fumée, s'est-il engagé à remplacer l'utilisation de sources à l'américium par des techniques ne faisant pas appel à la radioactivité). Dans ce domaine, les projections au-delà de 2030 sont donc particulièrement incertaines. On peut les fonder, conventionnellement, sur l'hypothèse d'une continuité des pratiques actuelles qui conduisent à des flux de déchets (FMA-VC essentiellement) négligeables devant ceux précédemment décrits.
En additionnant les quantitatifs précédents aux valeurs du bilan à fin 2030 (voir chapitre 3), on obtient pour les déchets engagés du scénario 1 :

Scénario de poursuite de la production électronucléaire (scénario 1) : volumes de déchets produits et à produire (démantèlements inclus) en m³ équivalent conditionné

HA (déchets vitrifiés)	7 910 dont 74 de combustibles usés
MA-VL	65 300
FA-VL	164 700
FMA-VC	1 530 200
TFA	1 560 200

Nota :

Les volumes présentés ci-dessus sont arrondis à la dizaine de m³ pour les déchets HA, à la centaine de m³ pour les déchets MA-VL, FA-VL, FMA-VC et TFA.

Scénario 2 : non renouvellement de la production électronucléaire

Comme indiqué au chapitre 3, l'hypothèse d'une durée de vie prévisionnelle de 40 ans pour tous les réacteurs conduit à arrêter vers 2020 le premier de ceux qui sont aptes à recycler du plutonium sous forme de combustible MOX, et vers 2030 le dernier d'entre eux. À l'appui de l'échéancier de mise à l'arrêt définitif des 22 tranches « moxables » à ce jour, on peut calculer la quantité de plutonium qui serait nécessaire pour les alimenter jusqu'en fin de vie. Déduction faite des stocks existants à fin 2007 et compte tenu des apports liés au traitement à venir sur la base du flux annuel de 850 tonnes de combustibles UOX, les calculs réalisés par EDF montrent que c'est en 2019 qu'il conviendrait de cesser définitivement les opérations de traitement, dans l'objectif d'aboutir à un stock de plutonium séparé nul (c'est-à-dire hors plutonium contenu dans les combustibles usés[3]) en 2030, lorsque le dernier réacteur moxé s'arrêtera.
La conséquence d'un arrêt du traitement serait que tous les combustibles usés non traités à cette date deviendraient des déchets. Ainsi, en fin de vie du parc, la quantité totale de déchets HA « combustibles usés » s'élèverait à 27 950 tonnes : 27 350 tonnes de la filière REP (dont 2 900 tonnes de MOX), 420 tonnes de combustibles EPR et 180 tonnes de combustibles de la filière rapide (SUPERPHENIX). Par ailleurs, en 2019, date d'arrêt du traitement des combustibles usés, le stock d'uranium appauvri serait proche du stock à fin 2020 (voir sous-chapitre 3.2) soit environ 332 000 tonnes.

À partir de 2019, les installations de traitement ne génèreraient plus que des déchets de démantèlement. En revanche, les usines de l'amont du cycle et les réacteurs EDF encore en exploitation continueraient à produire des déchets FMA-VC et TFA, ainsi que quelques déchets MA-VL, jusqu'en 2052, date correspondant à l'arrêt de la dernière tranche mise en service (réacteur EPR Flamanville). Concernant les activités du CEA civil et du CEA/DAM, on considère comme négligeable l'impact sur les installations concernées de l'arrêt du traitement des combustibles usés en 2019 ; en conséquence, la date d'arrêt d'exploitation de ces installations est fixée conventionnellement à 2040, comme dans le scénario 1.

3 Y compris les combustibles RNR de Superphénix dont le traitement n'est pas engagé à cette date et dont la quantité de plutonium (équivalent à une année et demie de traitement UOX) était considérée, dans l'Inventaire national précédent, comme ressource mobilisable à cette échéance, expliquant ainsi la date de 2017.

Déchets produits par l'exploitation et le démantèlement des réacteurs, de l'amont et de l'aval du cycle

Pour les déchets générés par l'exploitation des réacteurs, l'amont et l'aval du cycle, compte tenu du nombre de réacteurs encore en exploitation à l'horizon 2020 (51), on peut estimer simplement les quantités de déchets (hors démantèlement) qui seraient produits à fin 2019 en retranchant des bilans à fin 2020, les quantités suivantes, correspondant à la production de l'année 2020 :

- 110 m³ pour les colis de déchets HA (sur la base du flux de traitement de 850 t UOX/an, associé à un ratio de conditionnement égal à 0,74 colis CSD-V par tonne de combustible traité) ;
- pour les colis de déchets MA-VL, 30 m³ produits par l'exploitation et la maintenance des réacteurs REP, 155 m³ produits par les activités de l'aval du cycle[4] ;
- pour les colis de déchets FMA-VC, 3 600 m³ produits par l'exploitation et la maintenance des réacteurs REP, 100 m³ issus des activités de l'amont du cycle (fabrication des combustibles) et 1 200 m³ induits par l'aval du cycle (activité de traitement des combustibles) ;
- pour les déchets TFA, 2 300 m³ produits par l'exploitation et la maintenance des réacteurs REP, 1 600 m³ par les activités de l'amont du cycle et 1 000 m³ par les activités de traitement.

Pour les déchets produits par l'exploitation des réacteurs et les activités de l'amont du cycle, s'ajouteraient aux déchets à fin 2019, les déchets produits au *prorata* du nombre de réacteurs encore en exploitation entre 2020 et 2052 (le nombre de réacteurs en exploitation diminuant au cours du temps jusqu'à s'annuler en 2052, date d'arrêt du réacteur EPR de Flamanville), soit :

- 430 m³ de colis de déchets MA-VL, 25 000 m³ de déchets FMA-VC, 16 100 m³ de déchets TFA produits par l'exploitation des centrales EDF ;
- 565 m³ de déchets FMA-VC et 9 133 m³ de déchets TFA liés aux activités de l'amont du cycle[5].

Enfin, s'ajouteraient à ces déchets d'exploitation, les déchets de démantèlement post-2020 produits par ces trois secteurs d'activité, soit :

Pour les centrales nucléaires:

- 6 700 m³ de déchets MA-VL
- 17 000 m³ de déchets FA-VL
- 290 000 m³ de déchets FMA-VC
- 505 500 m³ de déchets TFA

Pour les installations de l'amont du cycle :

- 5 000 m³ de déchets FMA-VC
- 83 400 m³ de déchets TFA

Pour les installations de l'aval du cycle :

- 3 400 m³ de déchets MA-VL
- 28 000 m³ de déchets FMA-VC
- 36 400 m³ de déchets TFA

4 133 m³ correspondent aux colis de déchets compactés générés par le flux de traitement de 850 tonnes (base 0,85 CSD-C/t) ; le solde (22 m³) intègre 12 m³ de déchets cimentés et 10 m³ de déchets technologiques alpha induits par le traitement ; les flux relevant de l'activité de traitement prennent en compte les prévisions d'AREVA, dont l'intention est de réduire le volume des déchets en augmentant la part de ceux qui seraient compactés ; on a par ailleurs considéré comme négligeable le volume issu du traitement des effluents (déchets conditionnés dans une matrice bitume).

5 Ces volumes ont été évalués par l'Andra sur la base des flux actuels donnés par AREVA. Les déchets de l'amont du cycle, induits par la fabrication des combustibles EPR, ne sont pas comptabilisés en raison de leur quantité marginale.

Déchets d'exploitation et de démantèlement produits par les autres activités

Au-delà de 2030 et jusqu'en 2040 (date d'arrêt d'exploitation fixée conventionnellement pour l'ensemble des installations du CEA et du CEA/DAM), les activités de ces deux organismes génèreront, en production courante (hors démantèlements) environ 200 m^3 de déchets divers MA-VL, 5 000 m^3 de déchets FMA-VC et 10 000 m^3 de déchets TFA. S'ajouteraient à ces déchets, les déchets de démantèlements post-2030 présentés aux chapitres 3 et 4.

On suppose par ailleurs, comme dans le scénario 1, que l'industrie chimique utilisant des matériaux naturellement radioactifs continuerait à engendrer des déchets radifères FA-VL, à hauteur de 100 m^3/an, jusqu'à la date conventionnelle de 2040.

Comme dans le scénario 1, environ 200 m^3 de déchets FMA-VC et 340 m^3 de déchets TFA, selon les estimations actuelles, sont comptabilisées pour le démantèlement du Centre de stockage FMA de l'Aube.

Pour les autres installations (installations de recherche, installations militaires, hôpitaux, laboratoires, industries classiques), il n'est pas possible de définir une date d'arrêt unique, ni de procéder à une évaluation individuelle de la durée de chacune. L'hypothèse du scénario 1 (continuité des pratiques actuelles conduisant à des flux de déchets [FMA-VC essentiellement] négligeables devant ceux précédemment décrits) est conservée.

Les déchets engagés du scénario 2 sont donc obtenus :

- en retranchant les quantités relatives à l'année 2020 des valeurs des bilans à fin 2020 pour les déchets produits par l'exploitation et la maintenance des réacteurs et les activités de l'amont et de l'aval du cycle ;
- en ajoutant aux déchets produits à fin 2019, les déchets produits dans le cadre de ce scénario entre 2020 et 2052 par l'exploitation des réacteurs et l'amont du cycle ;
- en ajoutant aux valeurs des bilans à fin 2020 les déchets de démantèlement post-2020, pour les réacteurs EDF, les installations de l'amont et de l'aval du cycle ;
- en ajoutant aux bilans à fin 2030 les déchets d'exploitation produits entre 2030 et 2040 ainsi que les déchets de démantèlement post-2030, pour les autres activités dont celles du CEA civil et celles du CEA/DAM.

Scénario de non renouvellement de la production électronucléaire (scénario 2) : volumes de déchets produits et à produire (démantèlements inclus) en m³ équivalent conditionné

HA (combustibles usés) **HA (déchets vitrifiés)**	89 000[6] (28 000 tonnes) 3 500
MA-VL	58 900
FA-VL	164 700
FMA-VC	1 466 500
TFA	1 500 300

Nota :

Les volumes présentés ci-dessus sont arrondis à la dizaine de m³ pour les déchets HA vitrifiés, à la centaine de m³ pour les déchets MA-VL, FA-VL, FMA-VC et TFA et au millier de m³ pour les combustibles usés.

6 Suivant les hypothèses de conditionnement de l'Andra retenues dans le dossier de faisabilité du stockage géologique en 2005, pour les combustibles usés REP. On suppose que le millier d'assemblages RNR Superphénix est conditionné comme des MOX.

annexe 3
les filières de gestion des déchets radioactifs

Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) décrit les filières de gestion des différentes catégories de déchets radioactifs (voir chapitre 1). Les filières de gestion comprennent quatre types de stockage : deux types de stockage sont aujourd'hui opérationnels, deux autres sont à l'étude. L'acceptation d'un déchet dans l'un ou l'autre de ces types de stockage est examinée sur la base d'une évaluation de la sûreté à court, moyen et long terme.

Le CSTFA

L'Andra exploite depuis l'été 2004 le Centre de stockage de déchets de très faible activité (CSTFA). Ce Centre est une installation classée pour la protection de l'environnement, dont l'exploitation est autorisée par l'arrêté n° 03-2176 A du 26 juin 2003.

Le CSTFA couvre une superficie de 45 hectares, située essentiellement sur la commune de Morvilliers (10). Il est destiné à accueillir 650 000 m3 de déchets provenant pour l'essentiel du démantèlement des installations nucléaires françaises arrêtées. Les colis de déchets, contrôlés à leur arrivée sur le site, sont stockés dans des alvéoles creusées dans l'argile, dont le fond est aménagé pour recueillir d'éventuelles eaux infiltrées. Ils sont ainsi isolés de l'environnement par un dispositif comprenant :

- une membrane synthétique entourant les déchets, 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, qui sera disposée au-dessus des déchets.

Pendant leur exploitation, les alvéoles sont protégées par des toits démontables en forme de tunnel et équipées de dispositifs de surveillance.

Centre de stockage de déchets de très faible activité (CSTFA)

Le CSFMA

L'Andra exploite depuis 1992 le Centre de stockage en surface pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (CSFMA), sur la commune de Soulaines-Dhuys (10). Ce Centre est une installation nucléaire de base.

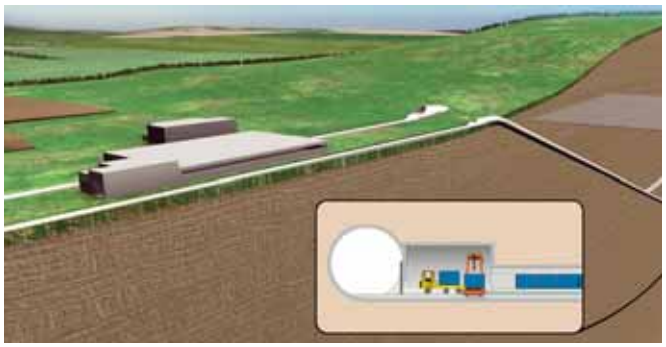
Les colis sont stockés dans des cases de stockage de béton armé de 25 mètres de côté et de 8 mètres de hauteur. Pendant le remplissage de la case, les colis sont protégés de la pluie par des toits mobiles. Lorsqu'une case est remplie, elle est fermée par une dalle de béton et recouverte d'une couche de polyuréthane imperméable. On vérifie l'étanchéité de ces cases grâce à un réseau de galeries souterraines, régulièrement contrôlées. L'ensemble forme les ouvrages de stockage, étudiés pour résister aux séismes.
Les cases de stockage sont construites sur une couche d'argile imperméable qui constituerait une barrière naturelle, en cas de dispersion accidentelle d'éléments radioactifs vers la nappe souterraine. Au dessus de l'argile, une couche sableuse draine les eaux de pluie vers un exutoire unique qui facilite la surveillance de l'environnement.

Centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte (CSFMA)

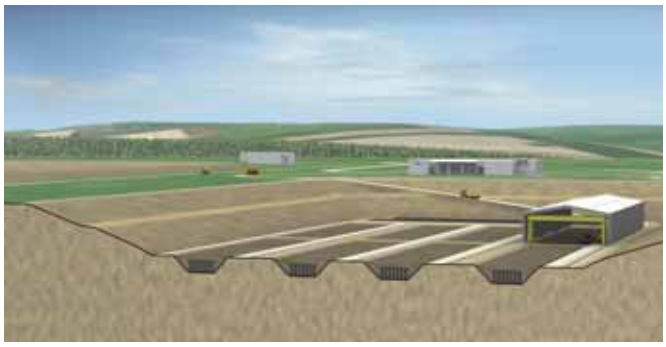
Le projet de stockage à faible profondeur

La loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006 charge l'Andra de mettre au point des solutions de stockage à faible profondeur pour les déchets de graphite (issus du démantèlement des réacteurs électronucléaire de première génération UNGG) et les déchets radifères. L'Andra est aussi missionnée pour étudier la possibilité de prendre en charge dans le cadre de ces solutions d'autres types de déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), notamment des sources scellées usées et des objets de faible activité au radium, thorium et uranium.
Le concept de stockage à faible profondeur est élaboré pour limiter la circulation de l'eau, limiter le relâchement des radionucléides contenus dans les déchets et les immobiliser dans le stockage, retarder et atténuer la migration des radionucléides vers l'environnement, isoler les déchets des activités humaines et des phénomènes naturels. Après la fermeture des ouvrages, ces fonctions de sûreté seront réalisées de manière passive, sans nécessiter d'intervention humaine.
Le stockage est étudié dans une couche argileuse. Actuellement deux options de conception sont considérées, fondées sur des techniques de réalisation d'ouvrages à faible profondeur. La première option consiste à utiliser la technique d'exécution à ciel ouvert pour accéder au niveau du stockage. Après stockage des déchets, la zone de stockage est remblayée avec les déblais du site. Cette option est dite « stockage avec couverture remaniée (SCR) », elle est applicable aux déchets radifères et permet une profondeur de stockage d'environ 30 mètres. La seconde option consiste à utiliser la technique de creusement en sous sol. L'accès est effectué par des galeries qui, une fois les déchets stockés, sont remblayées. Cette option est dite « stockage avec couverture intacte (SCI) ». Cette option est adaptée aux deux types de déchets et permet des profondeurs de stockage plus importantes (de 50 à 200 mètres).

La recherche de site pour un stockage à faible profondeur se fonde sur un volontariat des municipalités dont le sous-sol recèle une couche argileuse potentiellement favorable. L'appel à manifestations d'intérêt de la part de telles municipalités s'est achevé le 31 octobre 2008. Sur cette base, l'Andra a proposé à fin 2008 plusieurs zones pour y réaliser en 2009 et 2010 des travaux de reconnaissance géologique. C'est au terme de cette reconnaissance, ainsi que d'une confirmation, par les municipalités concernées, de leur candidature et d'un travail de consultation locale, que sera choisi le site d'accueil.
Du point de vue de la sûreté, l'ensemble de ce travail s'appuie sur la note d'orientation générale en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue (FA-VL), publiée par l'ASN le 5 mai 2008.
Le choix d'un site d'accueil permettra d'élaborer un avant-projet de centre de stockage et le dossier de demande d'autorisation de création. L'inventaire des déchets qui fondera le dimensionnement du projet (appelé modèle d'inventaire de dimensionnement) sera arrêté en 2010. Le dossier de demande d'autorisation de création sera accompagné de projets de spécifications d'acceptation des colis de déchets. La mise en service du centre de stockage à faible profondeur est envisageable à l'horizon de 2019.



Principe du stockage en couverture intacte

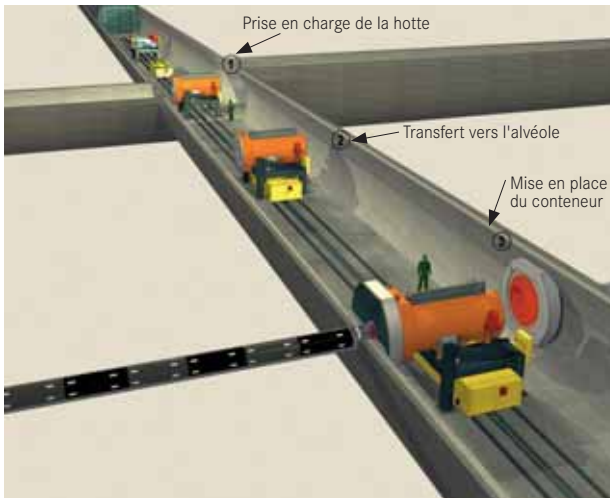


Principe du stockage en couverture remaniée

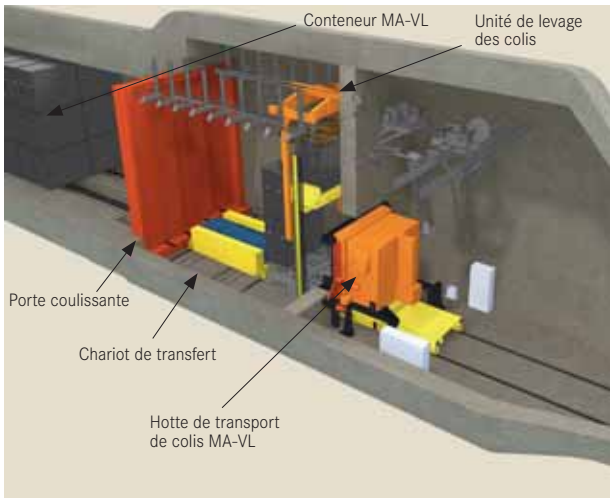
Le projet de stockage profond

La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 charge l'Andra de mener des études et recherches pour choisir un site et concevoir un centre de stockage profond. Ce centre accueillera les déchets radioactifs qui ne pourront pas être stockés en surface ou à faible profondeur pour des raisons de sûreté ou de radioprotection : il s'agit des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL). La mise en service d'un tel centre, sous réserve de son autorisation, est prévue en 2025. La loi dispose que ce stockage sera réversible pendant une durée qui ne pourra être inférieure à 100 années. Les conditions de la réversibilité seront fixées par une future loi, à partir des résultats des études et recherches menées d'ici 2014.
Les installations souterraines de stockage seront implantées dans la formation d'argilite du Callovo-Oxfordien actuellement étudiée au moyen du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne.
À l'intérieur de la zone de transposition du Laboratoire (250 km^2 en Meuse et en Haute-Marne), une zone d'environ 30 km^2, propice à l'implantation d'installations souterraines de stockage, sera identifiée en 2009. Une reconnaissance géologique approfondie de cette zone d'intérêt sera alors réalisée de 2010 à 2012. Pendant cette période, plusieurs scénarios d'implantation des installations de surface et souterraines seront étudiés pour préparer le débat public sur le projet (2013), suite auquel le choix du site sera fixé.

Le dossier remis par l'Andra en 2005 au Gouvernement décrit l'architecture d'un tel stockage au stade d'études de faisabilité. Un travail d'optimisation des concepts techniques est en cours. En 2009, l'Andra proposera des options de sûreté et de réversibilité, sur la base desquelles s'effectueront les études d'avant-projet du centre de stockage et la préparation du dossier de demande d'autorisation de création, qui sera remis à fin 2014. Le modèle d'inventaire de dimensionnement du projet (MID) sera présenté en 2009. Comme pour le stockage à faible profondeur, le dossier de demande d'autorisation de création sera accompagné de projets de spécifications d'acceptation des colis de déchets.
Les colis de stockage seront constitués des colis primaires tels que conditionnés aujourd'hui par les producteurs de déchets complétés par un conteneur de stockage. Ces colis de stockage seront mis en place de manière réversible dans des alvéoles souterraines creusées dans l'argilite. L'architecture étudiée regroupe les alvéoles de stockage des différentes catégories de déchets au sein de zones de stockage spécifiques. Les zones de stockage de déchets MA-VL et de déchets HA sont ainsi physiquement distinctes les unes des autres.
Les déchets HA concentrent la plus grande part de la radioactivité des déchets et se caractérisent par un dégagement thermique élevé (jusqu'à 500 W par colis de déchets à la mise en stockage, cette dernière n'intervenant qu'après un entreposage de décroissance thermique d'au moins 60 années pour les déchets vitrifiés aujourd'hui produits par l'usine de La Hague) : la densité de stockage des déchets HA (nombre de colis par alvéole de stockage, distances entre alvéoles) doit être limitée de manière à maintenir la température à un niveau compatible avec les fonctions de sûreté du stockage. La thermicité négligeable ou faible des déchets MA-VL permet un stockage plus compact, alors que le volume total des colis de déchets MA-VL est très supérieur à celui des déchets HA.
Après la fermeture du stockage (remblayage et scellement des galeries et des puits d'accès), la protection de l'homme et de l'environnement reposera sur des fonctions de sûreté passives, de façon analogue au stockage à faible profondeur. La sûreté de ce projet est encadrée par le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en couche géologique profonde, publié par l'ASN le 21 mars 2008.



Stockage profond des déchets HA



Stockage profond des déchets MA-VL

annexe 4

les besoins d'entreposage pour les colis de déchets HA et MA-VL

1 les besoins sur les sites de production avant la mise en exploitation du stockage profond, prévue en 2025

Le recensement des besoins d'entreposage sur les sites de production repose sur une comparaison entre les prévisions de production des différentes familles de colis HA et MA-VL à l'échéance de 2030 et les capacités d'entreposage qui pourront être mobilisées à cette date. La mise en exploitation du stockage prévue en 2025, étant suivie d'une montée en charge progressive, le recensement repose sur l'hypothèse prudente que la mise en stockage ne libérera pas de capacité d'entreposage significative sur les sites de production avant 2030.

1.1 Les besoins d'entreposage essentiellement liés à l'exploitation des usines de La Hague

Les colis de déchets vitrifiés CSD-V sont dirigés vers les trois entreposages : R7, T7 et E-EV-SE, d'une capacité cumulée de 2 174 m^3. Sa saturation étant prévue dès 2012, AREVA a entrepris en 2007 les études permettant la réalisation d'une extension d'E-EV-SE qui sera opérationnelle en 2012 et qui portera la capacité à 2 911 m^3. Une deuxième extension de capacité similaire est également envisagée par AREVA à l'horizon 2017, ce qui portera la capacité à 3 648 m^3. La production cumulée atteignant en 2030 un volume de 4 470 m^3, une nouvelle extension sera vraisemblablement nécessaire vers 2022.

Les colis de coques et embouts compactés sont entreposés dans l'ECC (Entreposage des coques compactées) qui a une capacité de 3 806 m^3. Les prévisions de production en 2030 (4 645 m^3) mettent en évidence une saturation à cette échéance. L'extension envisagée en 2022 par AREVA devrait permettre de couvrir ces besoins d'entreposage.

Les colis de coques et embouts cimentés et les déchets solides d'exploitation cimentés en conteneur amiante ciment (CAC) sont des productions achevées qui mobilisent des capacités d'entreposages concurremment avec des productions qui sont en cours (colis de déchets solides d'exploitation en conteneur béton fibres CBF-C'2 et autres familles de colis destinées au stockage FMA de l'Aube) et d'autres qui sont à venir (déchets pulvérulents cimentés en fûts inox de 1,5 m^3).
Pour ces colis, une capacité totale d'entreposage de 14 331 m^3 sera toujours disponible en 2030, dans les entreposages de déchets solides : EDS/ADT2, EDS/EDT et EDS/EDC dont l'exploitation devrait durer jusqu'en 2040. Compte tenu du volume réduit de colis FMA-VC en transit : quelques centaines de m^3, cette capacité apparaît comme suffisante pour accueillir une prévision de productions cumulées pour 2030 de 11 124 m^3.
Les colis de boues bitumées sur la station de traitement des effluents STE3 sont entreposés sur le bâtiment S d'une capacité de 4 760 m^3 suffisante pour les volumes attendus en 2030. La capacité apportée par son extension dans le bâtiment ES, de 6 426 m^3, sera suffisante pour entreposer les colis de boues qui seront produits par le procédé alternatif au bitumage et les colis de déchets contaminés en émetteurs alpha provenant pour partie de l'usine Melox de Marcoule. Ces conditionnements sont en cours d'étude. Avec les hypothèses retenues dans le cadre de cet Inventaire national les productions en cours et futures représentent 9 533 m^3.

1.2 Les besoins d'entreposage liés au démantèlement des installations de Marcoule et à la RCD des déchets anciens

Les colis de déchets vitrifiés dans l'Atelier de vitrification de Marcoule (AVM) ou le pilote PIVER sont des productions achevées d'un volume cumulé de 583 m^3 qui sont entreposés dans leurs installations de production et qui pourraient être regroupés dans l'entreposage de l'AVM dont la capacité est de 665 m^3. Cette capacité est suffisante pour qu'y soient également entreposés les colis de déchets qui seront vitrifiés sur Atalante, les colis d'effluents de rinçage vitrifiés et les colis de déchets solides d'exploitation de l'AVM dont le volume total devrait en 2030 atteindre 78 m^3.
7 000 colis en fûts inox de 380 litres (fûts EIP) de reconditionnement de fûts anciens de boues bitumées (7 000 fûts sur 26 131 fûts au total) sont ou seront placés dans l'entreposage intermédiaire polyvalent (EIP). Ils pourraient être rejoints d'ici 2030 par les colis de déchets de structure métalliques des assemblages combustibles, les déchets technologiques métalliques et des déchets de procédé, conditionnés dans les mêmes fûts inox de 380 litres. L'entreposage EIP a une capacité actuelle de 4 235 m^3 qui apparait comme juste suffisante pour accueillir en 2030, l'ensemble de ces productions cumulées qui représentent un volume de 4 223 m^3.
Pour accueillir les autres fûts anciens de boues bitumées (19 131 fûts), une solution alternative à la construction d'une extension de l'EIP est actuellement envisagée. Il s'agirait de les placer directement dans des conteneurs conçus sur le modèle du prototype de conteneur béton de stockage de l'Andra. Une installation d'attente d'expédition (IAE) serait parallèlement à construire pour entreposer ces conteneurs ainsi que les colis de RCD de déchets de structure magnésiens anciens dont le volume atteindra 1 642 m^3 en 2030.

Les colis de boues bitumées de la STEL produits depuis octobre 1996 et qui seront produits jusqu'en 2013 et les colis de boues cimentées qui leur succéderont, sont ou seront entreposés dans la casemate 14 de la STEL, entreposage d'une capacité de 1 200 m^3, la production de ces colis occupant un volume de 518 m^3 à fin 2030.

1.3 Les besoins d'entreposage liés à l'exploitation et au démantèlement des installations du CEA

Pour les colis de déchets HA et MA-VL, les installations d'entreposage sur les sites de production devraient donc permettre, sous réserve de la réalisation des extensions nécessaires, de répondre dès 2015, en termes de capacité et de durée, aux besoins qui sont prévus actuellement.

Les combustibles usés expérimentaux ou retirés des réacteurs de recherche du CEA vont être regroupés à terme dans l'entreposage CASCAD.
Les colis de boues de filtration cimentées en conteneur béton de 500 litres, les colis de déchets solides d'exploitation cimentés en fûts de 870 litres, sont des colis faiblement irradiants. Leur production cumulée en 2030 de 8 343 m^3 devra être entreposée sur CEDRA (FI) dont la capacité actuelle disponible de 4 450 m^3 doit être portée à 8 800 m^3 en 2014.
Les colis de déchets moyennement irradiants en fûts acier de 500 litres occuperont en 2030 un volume de 1 595 m^3, qui sera disponible dans l'entreposage CEDRA (MI). Sa capacité actuelle de 825 m^3 doit être portée à 2 350 m^3 en 2014.
Les colis de déchets solides en coques béton de 1 800 ou 1 000 litres bloqués par une matrice ciment ou ciment bitume, représentent une production ancienne de 695 m^3. Ils sont actuellement entreposés sur l'INB 56 et seront transférés vers le bâtiment intermédiaire de CEDRA d'une capacité de 1 200 m^3, dont la construction est prévue avant 2014. Cette capacité devrait être partagée avec les colis de sulfate de plomb radifère et les colis de blocs sources, productions également achevées d'un volume total de 582 m^3 qui pourraient être expédiée avant 2030 vers le stockage FA-VL[1].

1.4 Les besoins d'entreposage liés à l'exploitation et au démantèlement des réacteurs d'EDF

Les déchets activés qui seront produits par le démantèlement des six réacteurs de la filière UNGG, du réacteur à eau lourde de Brennilis, du réacteur à eau légère de Chooz A et du surgénérateur Superphénix, ainsi que les déchets activés constitués d'internes des réacteurs en exploitation REP conditionnés par cimentation en conteneur béton C1PG représenteront en 2030 un volume de 1 410[2] m^3.
L'installation ICEDA qu'EDF devrait mettre en exploitation en 2013 au Bugey, sera dotée d'un entreposage d'une capacité voisine de 4 000 m^3. Elle sera utilisée également pour des colis FA-VL et FMA-VC en instance d'expédition vers les stockages respectifs.
En conclusion, pour les colis de déchets HA et MA-VL, les installations d'entreposage sur les sites de production devraient donc permettre, sous réserve de la réalisation des extensions nécessaires, de répondre dès 2015, en termes de capacité et de durée, aux besoins qui sont prévus actuellement, comme le demande la loi du 28 juin 2006 et jusqu'à la mise en exploitation du stockage profond prévue en 2025.

1 Pour l'Inventaire national 2009, ces déchets sont rattachés à la filière de gestion MA-VL.

2 Ce chiffre représente la part des déchets qui seront conditionnés à fin 2030.

les besoins d'entreposage sur le site du stockage profond et sur les sites de production après 2025

2.1 La variété des besoins

L'Andra étudie sur le futur centre de stockage profond, les possibilités d'intégration d'entreposages complémentaires au stockage.
Pour les colis HA comme MA-VL, des entreposages devront assurer un « tampon » entre les transports et les opérations de mise en stockage. De plus, l'intégration d'entreposages répond au principe de réversibilité du stockage.
En complément des installations de production, ils permettront d'organiser les campagnes d'exploitation au fur et à mesure des décisions d'engagement de nouvelles tranches, dans le cadre de la gestion progressive par étape du stockage. Ainsi, pour les déchets HA provenant des usines de La Hague, des rendez-vous décisionnels périodiques pourront instruire la question d'un éventuel prolongement de la phase d'entreposage, afin de bénéficier d'une décroissance thermique supplémentaire (au-delà des 60 premières années incontournables d'entreposage). Enfin les entreposages du centre de stockage permettront de gérer les colis qu'il serait décidé de retirer du stockage, le cas échéant.

Une durée prévisionnelle d'exploitation des entreposages de l'ordre d'une centaine d'années serait en cohérence avec la durée d'exploitation du stockage.

2.2 Les caractéristiques propres aux entreposages sur le site de stockage

Pour assurer les « tampons » intermédiaires, les entreposages HA et MA-VL devront être polyvalents pour s'adapter aux caractéristiques très variables des différentes familles de colis, qu'elles soient dimensionnelles ou autres. Le nombre d'entreposages qui seront finalement construits va dépendre de ce degré de polyvalence.
La mise en œuvre de la réversibilité n'imposerait pas de créer en surface une capacité d'entreposage équivalente à celle du stockage, mais en revanche, il serait nécessaire que les installations soient de conception modulaire. De cette façon l'entreposage ne limiterait pas techniquement les décisions en matière de gestion progressive du stockage et éventuellement de retrait des colis.
Une durée prévisionnelle d'exploitation des entreposages de l'ordre d'une centaine d'années serait en cohérence avec la durée d'exploitation du stockage et avec la durée pendant laquelle le retrait des colis devra rester possible.

2.3 La dépendance aux chroniques de livraison

Le calendrier de livraison des familles de colis sur le site de stockage est à l'étude. Il dépendra entre autre de celui de la construction des alvéoles de stockage et de l'adaptation des installations de réception, de contrôle, d'entreposage et de placement en conteneur de stockage. Pour les colis HA exothermiques il dépendra aussi des temps nécessaires à la décroissance thermique.

Les colis HA non exothermiques pourront être amenés sur le site de stockage dès sa mise en exploitation. En supposant que leur mise au stockage s'échelonne de 2025 à 2035, les entreposages de colis HA seraient en mesure de recevoir dès 2035, des colis CSD-V dont la puissance thermique serait comprise entre 700 et 1 200 Watts. Ce scénario nécessiterait de construire sur le site de stockage, des capacités d'entreposage de l'ordre de 3 000 m^3 pour une attente pendant une quinzaine d'années minimum des colis CSD-V.

Ce scénario aurait deux avantages. Il permettrait d'une part, d'éviter une cessation provisoire d'exploitation des entreposages de colis HA (pendant au moins une quinzaine d'années) ; d'autre part il éviterait la création d'extensions d'entreposage supplémentaires pour les colis CSD-V sur le site de La Hague au-delà de 2035.

annexe 5
les déchets français immergés

1 Introduction

L'immersion de déchets radioactifs a été pratiquée par huit pays européens durant trois décennies à partir de la fin des années 1940. Ces immersions ont d'abord été réalisées dans les eaux territoriales par faible profondeur avant d'être ensuite réalisées au large du talus continental par grande profondeur. Elles ont été abandonnées en 1982 à la suite d'un accord international dit « Convention de Londres ».

On compte en tout 33 sites géographiques différents situés dans l'Atlantique et ses mers adjacentes (Manche, mer du Nord, mer d'Irlande et Baltique) dont 17 exclusivement utilisés par l'Angleterre. L'Allemagne, l'Italie et la Suède ont occasionnellement immergé de petites quantités de déchets radioactifs. La Belgique, la Suisse et les Pays-Bas ont également participé à des campagnes respectivement sur 6, 3 et 4 sites géographiques en grande profondeur.

La France, quant à elle, s'est limitée à 2 campagnes d'immersion dans l'Atlantique, réalisées en 1967 et en 1969 sur 2 sites distincts par plus de 4000 mètres de profondeur. Par ailleurs, 3 autres sites dans le Pacifique ont également été utilisés jusqu'en 1997 pour des déchets radioactifs induits par les activités liées aux essais nucléaires. Aucune immersion française n'a été pratiquée dans la Manche (seules l'Angleterre et la Belgique ont utilisé la fosse des Casquets devant Cherbourg alors que ces eaux avaient le statut d'eaux internationales).

2 le contexte historique et institutionnel

Au début des années 1950, l'immersion des déchets radioactifs en mer est considérée comme une filière d'élimination. La communauté scientifique de l'époque considérait l'évacuation en mer comme la filière la plus appropriée tant la dilution et la durée présumée d'isolement étaient importantes, en particulier pour les déchets tritiés. C'est dans ce contexte que le tritium se trouve être le principal contributeur de l'activité immergée près et au large des côtes européennes pendant plus de 30 ans.

Jusqu'au milieu des années 1960, chaque État concerné organise librement et selon ses propres règles ses immersions. Ensuite, ces immersions vont faire l'objet de programmes d'études scientifiques et techniques conséquents organisés par l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN), une agence spécialisée de l'Organisation internationale de coopération et de développement économiques (OCDE) notamment chargée d'édicter des recommandations aux pays candidats à cette pratique.

À partir de 1967, l'OCDE a commencé à coordonner les collectes de déchets au niveau des états européens candidats, en vue d'optimiser

techniquement les opérations d'immersion. C'est dans ce cadre légal supervisé par l'AEN que la France s'est associée aux deux campagnes de 1967 et 1969 pour des déchets de faible et moyenne activité.
Par la suite, la France n'a plus participé aux autres campagnes qui ont continué à être organisées sur une zone unique, différente de celles utilisées antérieurement avec la France. Ce site unique, recommandé par l'OCDE, est un rectangle d'environ 4 000 km^2 à 1 000 km des côtes françaises sur lequel 123 000 colis seront immergés en 12 ans.

3 le bilan des immersions dans l'Atlantique Nord

Commencée à très petite échelle en 1948, la quantité de radioactivité immergée a augmenté progressivement pour atteindre un maximum de 5 à 7 PBq (péta becquerels ; 1 PBq = 10^{15} Bq) par an au début des années 1980, peu avant l'adoption en 1983 d'un moratoire européen sur l'évacuation des déchets faiblement radioactifs en mer.

Au total, entre le nord de l'Irlande et les Açores, ce sont 150 000 tonnes de déchets de faible et moyenne activités qui ont été immergées par 8 pays, essentiellement sur une quinzaine de sites en grande profondeur. L'activité totale immergée entre 1948 et 1982 est de l'ordre de 42 PBq, dont près du tiers correspond à celle de l'élément tritium. Sur la totalité de ces immersions, les déchets français représentent :

- moins de 1% en activité (0,35 PBq des 42 PBq immergés),
- un peu moins de 10% en masse (14 200 tonnes sur 150 000 tonnes immergées).

Les deux immersions françaises ont été réalisées en des lieux différents :

- en 1967 au large de la Galice en Espagne (latitude 42° 50' N, longitude 14° 30' W, soit 370 km au large de l'Espagne), à une profondeur comprise entre 4 590 et 5 310 mètres,
- en 1969 au large de l'Irlande et de la Bretagne, au delà du talus continental (latitude 49° 05' N, longitude 17° 05' W, soit 926 km au large de la Bretagne), lieu dit « Porcupine », à une profondeur comprise entre 4 000 et 4 600 mètres.

Ces deux immersions représentent 46 396 fûts et conteneurs de déchets de faible activité, contenant essentiellement des boues de décantation d'effluents liquides en provenance du centre de Marcoule, conditionnés en fûts métalliques sans ou avec liant à base de bitume, et en conteneurs bétonnés :

- en 1967, 30 700 conteneurs métalliques (activité totale en émetteurs alpha de 0,0059 PBq et de 0,2126 PBq en émetteurs bêta-gamma) et 896 conteneurs cimentés (activité totale en émetteurs alpha de 0,040 TBq et de 0,00037 PBq en émetteurs bêta-gamma) ;
- en 1969, 14 800 conteneurs cimentés (activité totale en émetteurs alpha de 0,0025 PBq et de 0,1319 PBq en émetteurs bêta-gamma).

le bilan des immersions françaises dans le Pacifique

4

Entre 1966 et 1996, la France a procédé à 164 essais nucléaires et 15 essais de sécurité dans le Pacifique. Les expériences ont eu lieu à Mururoa et à Fangataufa, 2 atolls situés à 1 200 km de Tahiti dans l'archipel des Tuamotu-Gambier. Environ à mi-chemin, l'atoll de Hao constituait la base avancée nécessaire à la logistique, à la préparation et au suivi de ces essais.

Des déchets radioactifs ont été produits sur ces 3 sites pendant la période d'exploitation des installations nécessaires au suivi des essais et, après le dernier essai souterrain (1996), au moment de leurs démantèlements. Par ailleurs, des actions d'assainissements des atolls et des lagons consécutives aux essais aériens de la période 1966-1974 ont également généré des déchets radioactifs.

En 2005, le ministère de la Défense a mis en ligne sur son site Internet de nombreuses données techniques détaillées sur l'histoire des expérimentations nucléaires françaises dans le Pacifique. Ces informations comprennent aussi des données sur le traitement des déchets produits, enfouis dans des puits ou immergés à l'extérieur des lagons, dans l'océan par grande profondeur.

Atoll de Muroroa

Les premières immersions ont eu lieu en 1967 au nord de Hao, par 2 500 mètres de fond. Les dernières ont eu lieu en 1982 au large de Mururoa, par 3 000 mètres de fond. Au total, 3 200 tonnes de déchets essentiellement métalliques ont été immergées sur 3 sites à quelques milles des atolls de Mururoa (2 sites) et de Hao (1 site). Il n'y a pas eu d'immersion autour de Fangataufa.

Les déchets enfouis en puits sur Mururoa correspondent à 11 600 colis de résidus en fûts ou viroles auxquels s'ajoutent de l'ordre de 7 700 m^3 d'agrégats et ferrailles divers, soit une activité alpha de 23 TBq et une activité béta-gamma de 0,7 TBq.

L'origine de ces déchets radioactifs est diverse :

- des résidus des installations de décontamination (notamment celles sur la base de Hao ou celles à Mururoa traitant les matériels de post-forages après les essais souterrains) ;
- des résidus du traitement des échantillons prélevés pour les diagnostics radiochimiques post-essais ;
- des pièces, essentiellement métalliques, venant des démantèlements d'installations.

En fonction de l'activité massique des déchets à immerger, des fûts ont été utilisés quand cela était possible. Des matériels volumineux ont été hélitreuillés en l'état sur l'une des zones d'immersion (éléments lourds de tours métalliques ayant servi aux essais aériens par exemple) ou directement immergés par barge (avions Vautour, réacteurs, engins de prélèvements aériens). Les résidus ont été essentiellement conditionnés dans des fûts métalliques remplis de béton.

Ces déchets contenaient majoritairement des radionucléides émetteurs béta-gamma à vie courte, de période inférieure à 10 ans, dont les radionucléides ^{140}Ba, ^{141}Ce, ^{144}Ce, ^{60}Co et d'autres de période plus longue, proche de 30 ans comme le ^{137}Cs et ^{90}Sr.
Après 1981 et jusqu'en 1997, date de la fin des opérations d'assainissement radiologique des installations, l'immersion a été abandonnée. Le stockage retenu a été 2 puits profonds spécifiques de Mururoa (déjà utilisés antérieurement pour l'un d'eux) ainsi que certaines têtes de puits non refermées ayant servi aux essais.
Par ailleurs, environ 5 000 tonnes de ferrailles non contaminées ont également été immergées au large de Hao, après juillet 2000.

Le tableau ci-dessous résume les déchets radioactifs stockés dans le Pacifique.

Site de Hao	Sites de Mururoa
Localisation Polynésie française, archipel des Tuamotu (1 100 km au sud est de Tahiti, 500 km au nord ouest de Mururoa). Site dit « Hôtel » à 7,4 km au nord de l'atoll, sur environ 1 km² à une profondeur de 2 500 mètres.	**Localisation** Polynésie française, archipel des Tuamotu-Gambier, 1 200 km au sud-est de Tahiti. Site 1 dit « Novembre » : environ 6 km au nord de l'atoll, sur 20 km² à une profondeur comprise entre 2 000 et 3 200 mètres.Site 2 dit « Oscar » : environ 8 km au nord-ouest de la passe . donnant accès au lagon, sur 60 km² à une profondeur comprise entre 2 000 et 3 200 mètres.
Description brève des déchets Entre 1967 et 1975, déchets provenant pour partie du traitement des échantillons prélevés dans les nuages générés par les essais atmosphériques, immergés au cours de 19 campagnes. 5 avions Vautour, des réacteurs ATAR, des fusées Matra ayant servi aux prélèvements d'aérosols et des lots de pièces métalliques divers, font notamment partie de ces campagnes.	**Description brève des déchets** Sur « Novembre » : entre 1972 et 1975, déchets métalliques non conditionnés immergés au cours de 5 opérations par hélicoptère lourd. Il s'agit d'éléments de tours ayant servi aux tirs aériens et de gros débris provenant des 5 essais de sécurité réalisés à cette époque. Sur « Oscar » : entre 1974 et 1982, déchets conditionnés en conteneurs béton et déchets en vrac immergés au cours de 14 opérations par bateau. Déchets provenant d'opérations d'assainissement sur la partie nord de l'atoll ainsi que d'échantillons de roches basaltiques prélevés par forage post-tirs.
Déchets stockés 310 tonnes en fûts de béton. 222 tonnes en vrac. Activité totale en alpha : 0,03 GBq et 15 GBq en bêta-gamma (dont environ 1/3 est due aux produits de fission provenant des engins de prélèvements en vol, contaminés [fusées de type Matra et avions]).	**Déchets stockés** Sur « Novembre » : 76 tonnes de déchets métalliques en vrac pour une activité totale en alpha de 7 GBq et de 1 GBq en bêta-gamma. Sur « Oscar » : 1 280 tonnes en conteneurs béton et 1 300 tonnes en vrac (matériels lourds assainis) pour une activité totale en alpha de 60 GBq et de 6 GBq en bêta-gamma.

la localisation des sites d'immersion

5.1 Localisation en Atlantique

En juin 1984 un programme français d'étude de l'environnement du site AEN a été entrepris en collaboration avec l'IFREMER et le CEA au moyen d'un submersible inhabité pour une reconnaissance photographique (campagne EPICEA). Sur 61 km linéaires (1 photo toute les 5 secondes à 3 ou 4 mètres du fond), 6 conteneurs ont été repérés dont 1 coque-béton (à rapporter aux 123 000 colis immergés sur ce site), ce qui montre la grande dispersion géographique des colis. Les conteneurs repérés sont apparus intacts. Deux de ces conteneurs immergés en 1979 ont pu être identifiés. Globalement, la répartition géographique sur les fonds est très hétérogène compte tenu de la très grande taille du site.

Des programmes scientifiques concernant directement ou indirectement la surveillance des anciens sites d'immersion, il ressort que la radioactivité observée dans la zone des déchets immergés se confond, voire est inférieure, aux fluctuations de la radioactivité naturelle de ces fonds marins. La commission OSPAR (regroupant des scientifiques des 15 pays les plus concernés par les immersions) considère que les émissions dans les zones d'immersion *« ne présentent qu'un risque radiologique négligeable pour l'homme, même s'il est difficile de tirer des conclusions définitives sur leurs impacts environnementaux »*.

Immersion de déchets radioactifs en mer dans les années soixante

5.2 Localisation dans le Pacifique

Dans le cadre des campagnes de surveillance permanente de l'état radiologique de la Polynésie française, à l'exclusion des sites Mururoa et Fangataufa, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) participe à l'évaluation des conséquences radiologiques des tirs atmosphériques et des éventuelles conséquences des tirs souterrains. Les analyses et prélèvements portent sur l'environnement des différents milieux terrestres mais aussi des lagons et de l'océan, réparti sur une vaste région dans les 4 archipels de la Polynésie française (Marquises, Tuamotu-Gambier, Société, Australes).

Le ministère de la Défense assure la surveillance radiologique des sites de Mururoa et Fangataufa. C'est le Département de suivi des centres d'expérimentations nucléaires (DSCEN) de la Délégation générale pour l'armement (DGA) qui exerce cette activité avec l'appui du Commissariat à l'énergie atomique. Mensuellement, des mesures de l'exposition externe et celles des aérosols atmosphériques à Mururoa sont réalisées. Cette surveillance est complétée par une campagne annuelle de prélèvements dans les milieux physiques et biologiques de ces atolls. Ce suivi radiologique concerne le milieu terrestre, les lagons et l'océan sur des zones prédéterminées dans la limite de 22 km des eaux territoriales de ces atolls. À Mururoa et à Fangataufa, les prélèvements océaniques sont réalisés tous les 4 ans (eaux, plancton, poissons pélagiques hauturiers). L'eau océanique est prélevée à 6 profondeurs différentes : proche de la surface, 200, 400, 600, 800 et 1000 mètres de profondeur.

Les radionucléides mesurés en 2006 entre Mururoa et Fangataufa sont présents à des niveaux très bas et le plus souvent inférieurs ou voisins de la limite de détection des appareils de mesure de la radioactivité. C'est par exemple le cas des radionucléides ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{239}Pu et ^{240}Pu. La totalité des résultats de la surveillance des deux atolls pour l'année 2006 est disponible sur le site internet du ministère de la Défense.

Les radionucléides mesurés en 2006 entre Mururoa et Fangataufa sont présents à des niveaux très bas et le plus souvent inférieurs ou voisins de la limite de détection des appareils de mesure de la radioactivité.

Pour en savoir plus

AIEA 1991 : « Inventory of radioactive material entering the marine environment sea disposal of radioactive waste » (TECDOC 588).

AIEA 1999 : « Inventory of radioactive waste disposals at sea » (TECDOC 1105).

Ministère de la Défense : « La dimension radiologique des essais nucléaires français en Polynésie : à l'épreuve des faits », novembre 2006, 477 pages.

annexe 6

glossaire

Termes	Définitions
Actinide	Radioélément naturel ou artificiel, de numéro atomique compris entre 89 (actinium) et 103 (lawrencium). Certains auteurs font commencer la série des actinides à l'élément 90 (thorium). Cette série correspond au remplissage de la couche 5f.
Actinide mineur	Terme d'usage désignant le neptunium, l'américium ou le curium formé dans les combustibles nucléaires.
Activité	Nombre de désintégrations ou de transitions isomériques nucléaires qui se produisent par unité de temps, dans une substance radioactive. L'unité d'activité est le becquerel.
Amont du cycle du combustible	Ensemble des opérations du cycle du combustible depuis l'exploitation minière jusqu'à la fabrication du combustible.
Assainissement radioactif	Pour une installation ou un site nucléaire, ensemble d'opérations visant à éliminer ou réduire la radioactivité, notamment par décontamination ou évacuation de matériels, en permettant la récupération contrôlée des substances radioactives.
Assemblage combustible	Groupement d'éléments combustibles qui restent solidaires, notamment au cours du chargement ou du déchargement du cœur d'un réacteur nucléaire.
Aval du cycle du combustible	Ensemble des opérations du cycle du combustible postérieures au séjour de ce dernier en réacteur, depuis le traitement éventuel des combustibles usés jusqu'au stockage des déchets radioactifs.
Becquerel (Bq)	Unité du système international (SI) de mesure de l'activité. C'est l'activité d'une quantité de nucléides radioactifs pour laquelle le nombre moyen de désintégrations ou de transitions isomériques nucléaires par seconde est égal à 1 (1 Bq = $1s^{-1}$). Cette unité remplace le curie (1 Ci = $3{,}7.10^{10}$Bq). On emploie plus couramment ses multiples : le mégabecquerel (MBq, million de becquerels), le gigabecquerel (GBq, milliard), le térabecquerel (TBq, mille milliards), le pétabecquerel (PBq, million de milliards) ou l'exabecquerel (EBq, milliard de milliards).
Boues bitumées	Boues issues d'une opération de coprécipitation dans les stations de traitement des effluents radioactifs liquides et conditionnées dans du bitume.
Centre de stockage de déchets radioactifs	Installation destinée à recevoir de manière durable des déchets radioactifs. En fonction des risques radiologiques des déchets, des installations de surface, à faible profondeur ou à environ 500 mètres de profondeur sont envisageables. Un tel stockage est dit réversible si, au prix de travaux plus ou moins importants, on peut, pendant une période déterminée, retirer les déchets qui y ont été placés.
Colis de déchets radioactifs	**Déchets radioactifs** conditionnés et emballés.
Combustible (nucléaire)	Matière contenant des **nucléides** dont la consommation par **fission** dans un réacteur nucléaire permet d'y entretenir une réaction nucléaire en chaîne.

Combustible MOX	Forme abrégée de combustible mixte d'oxydes.
Combustible UOX	**Combustible nucléaire** à base d'oxyde d'uranium. On distingue : - UOX1 : Combustible élaboré à partir d'uranium naturel enrichi à 3,25 % en U235, **taux de combustion** moyen de 33 GWj/t - UOX2 : Combustible élaboré à partir d'uranium naturel enrichi à 3,7 % en U235, **taux de combustion** moyen de 45 GWj/t - UOX3 : Combustible élaboré à partir d'uranium naturel enrichi à 4,5 % en U235, **taux de combustion** moyen de 55 GWj/t
Combustible(s) usé(s)	**Combustible nucléaire**, déchargé d'un réacteur après irradiation et envoyé à un centre d'entreposage, de stockage ou de traitement.
Conditionnement des déchets radioactifs	Ensemble des opérations consistant à mettre les **déchets radioactifs** sous une forme convenant à leur **transport**, leur **entreposage** ou leur **stockage**. *Note : ces opérations peuvent comprendre notamment le compactage, l'**enrobage**, la **vitrification**, la cimentation, le bitumage et la mise en conteneur.*
Confinement (de matières radioactives)	Maintien de matières radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé grâce à un ensemble de dispositifs visant à empêcher leur dispersion en quantités inacceptables au delà de cet espace.
Contamination (radioactive)	Présence indésirable, à un niveau significatif, de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque.
Conteneur	Dans l'industrie nucléaire, récipient fermé manutentionnable utilisé pour des opérations de transport, d'entreposage ou de stockage.
Coques et embouts	Déchets radioactifs comprenant les coques et les embouts supérieurs et inférieurs des assemblages combustibles des réacteurs à eau légère.
Crayon	Tube étroit de faible diamètre, fermé à ses deux extrémités, constituant du cœur d'un réacteur nucléaire quand il contient une matière fissile, fertile ou absorbante.
Déchets radioactifs	Substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.
Déchets de graphite	En France, catégorie de déchets radioactifs comprenant le graphite issu du cœur des anciens réacteurs graphite-gaz. Ce graphite contient du tritium et des éléments à vie longue (carbone 14, chlore 36).
Déchets radioactifs ultimes	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.
Déchets de structure	Déchets radioactifs comprenant les structures métalliques des assemblages combustibles des réacteurs à eau. Ce terme peut aussi s'employer pour les assemblages combustibles des réacteurs rapides à sodium.
Déchets à vie courte	Déchets radioactifs contenant en quantité significative des radionucléides dont la période radioactive est supérieure à 31 ans.
Déchets à vie longue	Déchets radioactifs dont les composants radioactifs principaux sont des radionucléides dont la période radioactive est inférieure ou égale à 31 ans.
Déchets tritiés	Déchets radioactifs, contenant du tritium, pouvant nécessiter une gestion spécifique compte tenu de la grande mobilité de cet élément.

Déchets vitrifiés	Dans le domaine nucléaire, déchets radioactifs conditionnés en utilisant du verre comme matrice de conditionnement. Les solutions de produits de fission ont été les premiers déchets vitrifiés. Il est envisagé que d'autres déchets moins radioactifs soient vitrifiés à l'avenir.
Démantèlement	1 - Ensemble des opérations techniques exécutées pour démonter et, éventuellement, mettre au rebut un équipement ou une partie d'une installation nucléaire. 2 - Dans la réglementation française, phase de la déconstruction d'une installation nucléaire qui comprend toutes les opérations postérieures au décret de mise à l'arrêt définitif.
Entreposage (de matières ou de déchets radioactifs)	L'entreposage de matières ou de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, dans l'attente de les récupérer.
Fissile	1 - Se dit d'un noyau qui peut subir une fission par interaction avec des neutrons de toute énergie, notamment des neutrons thermiques. Les noyaux de la série des actinides ayant des nombres de neutrons impairs sont soit fissiles (^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu, ^{241}Pu, etc.) soit émetteurs $ß^-$ à vie courte (^{237}U, ^{243}Pu, ^{244}Am, etc.). Pour ces derniers, la probabilité de fission induite par neutrons est négligeable même à haut flux. 2 - Se dit d'une substance qui contient un ou des nucléides fissiles. On parle alors de matière fissile.
Fission nucléaire	Désintégration d'un noyau lourd par division généralement en deux noyaux de masse atomique comprise entre 70 et 170.
Installation nucléaire de base (INB)	En France, installation nucléaire qui, par sa nature et ses caractéristiques ou en raison des quantités ou des activités de toutes les substances radioactives qu'elle contient, est soumise à une réglementation spécifique.
Isotope	1 - Tout nucléide d'un élément donné. 2 - Qualifie des nucléides d'un même élément.
Marqué (site)	Site présentant des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait nécessairement d'action particulière envisagée.
Matière radioactive	Une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.
Matrice (de conditionnement)	Matériau solide utilisé pour immobiliser ou pour confiner les déchets radioactifs ou simplement pour améliorer la résistance à l'écrasement du colis de déchets.
Métal lourd (tML)	Dans le domaine du combustible nucléaire, ensemble des actinides. En pratique, cette expression concerne essentiellement l'uranium et le plutonium : ainsi dans le calcul du taux de combustion rapporté à la tonne de métal lourd initial, cette dernière quantité est la tonne d'uranium ou de plutonium contenus dans le combustible avant irradiation.
Nucléide	Espèce nucléaire caractérisée par son numéro atomique Z et par son nombre de masse A, égal au nombre de nucléons de son noyau. Chaque élément chimique possède en général plusieurs nucléides isotopes. On désigne un nucléide par son symbole chimique précédé de son nombre de masse A en exposant et de son numéro atomique Z en indice, par exemple $^{238}_{92}U$.
Période radioactive (ou demi-vie)	Durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'atomes d'un nucléide radioactif. La valeur de sa période radioactive est une caractéristique essentielle de chaque nucléide radioactif.

Plutonium	Elément de numéro atomique Z = 94. Il a été produit initialement pour les applications militaires. Généré dans les réacteurs nucléaires par irradiation à partir de l'uranium 238, il est utilisé aujourd'hui comme constituant des combustibles Mox dans certains réacteurs à eau légère. C'est aussi le combustible retenu dans la plupart des études de réacteurs à neutrons rapides.
Pollué (site)	Dans le contexte de la contamination radioactive, qualifie une zone ou un site contaminé de manière importante par des substances radioactives, naturelles ou artificielles.
Producteur (de déchets)	Organisme produisant des déchets radioactifs et assurant éventuellement leur conditionnement primaire.
Produit de fission	Nucléide résultant d'une fission nucléaire après désexcitation prompte des fragments de fission. En sortie de réacteur nucléaire, la plupart (environ 95 % en masse) des produits de fission sont stables (environ 85 %) ou radioactifs à vie courte (environ 10 %). Quelques uns (environ 5 %), par exemple ^{99}Tc, ^{129}I sont à vie longue.
Radioactivité	Propriété d'un nucléide de se transformer spontanément en un autre nucléide, avec émission d'un rayonnement (particules, rayons X, rayons gamma, etc.), ou d'être le siège d'une fission spontanée accompagnée d'une émission de particules et de gammas. Outre la fission spontanée, on distingue principalement la radioactivité alpha, la radioactivité bêta (β^+, β^-, conversion interne), la radioactivité gamma et celle provenant d'une capture électronique. La radioactivité gamma accompagne souvent l'une des autres.
Radioélément	1 - Élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs. 2 - Terme d'emploi déconseillé parfois utilisé pour radio-isotope ou radionucléide.
Radionucléide	Nucléide radioactif.
Radioprotection	Ensemble des mesures destinées à réaliser la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les effets des rayonnements ionisants et à assurer le respect des normes de base. Elle comprend aussi la mise en œuvre des moyens nécessaires pour y parvenir.
Réacteurs à eau pressurisée (REP)	Synonyme de réacteur à eau sous pression. Réacteur à neutrons thermiques utilisant l'eau légère comme modérateur et caloporteur. Cette eau est maintenue liquide dans le cœur grâce à une pression suffisamment élevée pour qu'à la température de fonctionnement, l'ébullition en masse ne puisse pas se produite.
Réacteur graphite-gaz	Réacteur nucléaire à fission de première génération utilisant le graphite comme modérateur et le dioxyde de carbone gazeux comme fluide caloporteur.
Réacteurs à neutrons rapides (RNR)	Réacteur nucléaire dans lequel on limite la présence de matières pouvant ralentir les neutrons afin que les fissions soient produites principalement par des neutrons rapides.
Scénario	Ensemble d'hypothèses relatives à des évènements ou des comportements permettant de décrire les évolutions possibles d'un système dans le temps et dans l'espace.
Stockage de déchets radioactifs	Le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.
Substance radioactive	Une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.
Taux de combustion	Énergie totale libérée par unité de masse d'un combustible nucléaire. Il est couramment exprimé en mégawatts-jour par tonne.

Terre rare	Élément d'un groupe contenant les lanthanides et deux éléments chimiquement voisins, l'yttrium et le scandium.
Toxique chimique	Substance ou élément chimique susceptible d'induire des effets néfastes sur la santé humaine en cas d'ingestion et/ou d'inhalation. L'impact d'un toxique chimique sur la santé humaine est notamment quantifié par sa valeur toxicologique de référence (VTR) qui est une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (dans le cas d'un toxique à seuil d'effet), ou entre une dose et une probabilité d'effet (dans le cas d'un toxique sans seuil d'effet, souvent cancérigène). Plusieurs éléments ou substances utilisés dans le domaine nucléaire ou présents dans les produits de fission présentent une toxicité radioactive. Pour le stockage profond de déchets radioactifs, sont notamment pris en compte dans les études l'arsenic, le cadmium, le cyanure, le chrome, le mercure, le nickel, le plomb, l'antimoine, le sélénium, le bore, l'uranium, le béryllium, l'amiante.
Traitement d'un déchet	Ensemble d'opérations mécaniques, physiques ou chimiques ayant pour but de modifier les caractéristiques des déchets. L'objectif du traitement est de rendre les déchets propres au conditionnement.
Traitement des combustibles usés	Ensemble des opérations effectuées sur le combustible usé issu des réacteurs nucléaires pour en extraire des matières valorisables comme l'uranium et le plutonium et conditionner les déchets restants. Le traitement peut aussi être envisagé pour séparer d'autres éléments.
Tritium	Isotope de l'hydrogène de nombre de masse égal à 3. C'est un émetteur bêta de faible énergie (en moyenne 13 KeV) et d'une période de 12,3 ans. Il est utilisé dans de nombreuses molécules marquées. Les projets actuels d'application de la fusion nucléaire font tous appel à la réaction deutérium-tritium. Dans les applications industrielles civiles actuelles, c'est surtout un déchet radioactif, qui nécessite une gestion particulière en raison de sa grande mobilité.
Uranium de retraitement (URT)	Abréviation utilisée pour l'uranium issu du traitement des combustibles usés. On dit aussi uranium de retraitement ou encore uranium de traitement.
Uranium de retraitement enrichi (URE)	Uranium enrichi provenant de l'enrichissement d'uranium issu du traitement des combustibles usés. On dit aussi uranium de traitement enrichi.
Vie courte (VC)	Voir : déchets à vie courte.
Vie longue (VL)	Voir : déchets à vie longue.
Volume équivalent conditionné	Volume d'un colis de déchets, une fois que celui-ci a suivi toutes les étapes de traitement et de conditionnement aujourd'hui envisagées par son producteur.

Crédits photos

Photothèque Andra :
M. Aubert, P. Bourguignon, P. Demail,
Les Films Roger Leenhardt, D. Ladsous,
E. Le Marchand, P. Maurein, B. Trutmann

Photothèque CEA :
DAM, A. Gonin, Foulon, Le Corre, P. Dumas,
P. Stroppa, A. Venturier, D. Vincon

CNRS Photothèque :
J.M. Piel

Photothèque AREVA :
G. Carillo, E. Cervo, Eurodoc Centrimage,
C. Dupont, Y. Geoffray, J.C. Grelier, Harry Gruyaert,
G. Hallary, S. Jézéquel, P. Lesage, J.M. Taillat

Photothèque DCNS (droits réservés) :
Biaugeaud

Médiathèque EDF :
P. Bérenger, H. Cazin, A. Gonin, G. Jaumotte,
S. Loubaton, M. Morceau, C. Pauquet,
J.C. Raoul, F. Sautereau
et photothèques ASN, CIS-BIO, RHODIA, SOCODEI.

L'ÉDITION 2009
DE L'INVENTAIRE NATIONAL DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

Rapport de synthèse

Inventaire géographique

Catalogue descriptif des familles

Résumé

L'ensemble de ces documents est disponible sur Cd-Rom
et sur le site internet de l'Andra **www.andra.fr**
où vous pourrez aussi apporter vos suggestions

© Andra - 351 - juin 2009 - 4 000 ex - DCAI-CO-09-0051 - ISSN : 1629-5730 - Conception graphique et réalisation : Avec ou sans sucre
Impression : Corlet - Impression certifiée Imprim'Vert avec des encres végétales sur un papier partiellement recyclé, certifié FSC - **Gratuit - Ne peut être vendu**

ANDRA
La maîtrise des déchets radioactifs

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS
1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. 01 46 11 80 00
www.andra.fr

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire