



ÉDITION | 2006 |

● Inventaire national
des déchets radioactifs
et des matières valorisables



2006

Rapport de synthèse





Avant-propos

Ce document est la deuxième édition de l'Inventaire national des déchets radioactifs et des matières valorisables, qui traduit l'engagement de l'Andra d'inscrire son activité d'Inventaire dans la durée. Cette deuxième édition constitue une mise à jour ; on retrouvera donc la structure du précédent Inventaire (Rapport de synthèse, Catalogue des familles, Inventaire géographique). Les commentaires formulés par les lecteurs sur l'édition précédente ont en effet souligné la pertinence de ce mode de présentation, qui offre au public une quantité importante d'informations sous une forme facilement accessible.

L'édition 2006 se fonde sur un recensement spécifique des déchets radioactifs, conduit par l'Andra tout au long de l'année 2005. Il met donc à jour l'état des stocks de déchets et les sites qui les contiennent, à la date du 31 décembre 2004. Il présente également une évaluation prospective des stocks de déchets en 2010 et 2020, elle aussi réactualisée en fonction des prévisions des industriels. Ceux-ci ont pu revoir, ponctuellement, les hypothèses de conditionnement prévu pour certains déchets ou la catégorie à laquelle appartiennent certains d'entre eux. Il s'ensuit des modifications dans les chiffres présentés, en règle générale mineures. Le lecteur trouvera les informations nécessaires dans le corps du rapport.

Un effort particulier a été porté sur le recensement des « petits producteurs » (hôpitaux, centres de recherche de taille moyenne, industriels utilisant occasionnellement des objets radioactifs...), qui constituent une part marginale du volume et de la radioactivité des déchets, mais composent l'essentiel des sites. Une interrogation par courrier à l'échelle du territoire national, a été conduite, dans la continuité de celle menée en 2003 - 2004. Elle a permis de compléter la liste des sites identifiés.

L'Inventaire prend également en compte les remarques formulées par les lecteurs de la précédente édition. L'Andra s'est en effet attachée à recueillir leur avis. Un questionnaire a été mis en ligne sur le site internet de l'Agence, pour recueillir les suggestions des lecteurs. En complément, l'Andra a organisé en mars 2005 un colloque sur l'Inventaire national. Ont notamment participé à cette manifestation des responsables d'inventaires étrangers (britanniques, belges, et un représentant de l'Inventaire de l'Agence internationale pour l'énergie atomique), des représentants des Pouvoirs publics, des producteurs de déchets ainsi que des associations de protection de l'environnement. Les appréciations positives formulées à cette



occasion par l'ensemble des participants, quelle que soit leur position institutionnelle ou personnelle à l'égard de la filière électronucléaire, a constitué un encouragement fort pour les équipes en charge de l'Inventaire. L'Andra a également entendu les critiques, les commentaires, les remarques formulés à cette occasion. L'Inventaire a été complété en conséquence, sur plusieurs points.

Le principal est la prise en compte élargie de la notion de « déchets engagés ». L'Inventaire 2004 arrêtait en effet sa comptabilité prospective en 2020, du fait de difficultés à conduire les prévisions au-delà. Il présentait également les stocks de combustibles usés déchargés par le parc actuel de centrales nucléaires au-delà de 2020, sans préciser leur devenir. Evaluer les stocks de déchets à des échéances plus lointaines suppose de formuler des hypothèses sur le devenir des installations et sur la politique énergétique de la France à long terme. De tels sujets sont de la responsabilité des Pouvoirs publics et sortent du cadre de l'Inventaire national. En accord avec son comité de pilotage, l'Inventaire 2006 a néanmoins proposé des évaluations de production de déchets sur toute la durée de vie des installations actuelles, sous des hypothèses contrastées d'arrêt du nucléaire ou au contraire de poursuite de cette filière. Les principales hypothèses de calcul utilisées pour cela sont fournies au lecteur, pour lui permettre de modifier les scénarios s'il le souhaite. 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, car elles restent très dépendantes des choix de gestion à venir.

D'autres améliorations, suggérées par les lecteurs, apparaissent également au fil du texte : des explications complémentaires 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. La section consacrée aux matières valorisables a été développée. Des références bibliographiques sont désormais fournies au lecteur désireux d'approfondir certains sujets.

Le Ministère en charge de l'industrie a renouvelé son soutien à l'Inventaire national, en assurant la pérennité de son financement et en souhaitant qu'il soit régulièrement mis à jour, tous les trois ans. La parution des éditions successives ouvrira l'opportunité d'améliorer encore le rapport, tant sur la forme que sur son contenu. Les lecteurs de tous horizons sont invités à faire part de leurs réactions.

Marie-Claude DUPUIS
Directrice Générale de l'Andra



Sommaire



Introduction générale

7



1 [Les déchets radioactifs]

11

- 1.1 - La définition des déchets radioactifs 12
- 1.2 - La classification des déchets radioactifs 13
- 1.3 - L'origine des déchets radioactifs 16
- 1.4 - La gestion des déchets radioactifs 18



2 [Comment faire l'Inventaire ? La méthodologie]

27

- 2.1 - Organisation retenue pour le recensement des déchets radioactifs 28
- 2.2 - La construction du recensement des déchets radioactifs 29
- 2.3 - La comptabilisation et la prospective des déchets radioactifs 30
- 2.4 - Les prévisions de production des déchets radioactifs 31
- 2.5 - Le recensement des matières valorisables 33
- 2.6 - Cette méthodologie rend-elle l'Inventaire exhaustif ? 33
- 2.7 - Les outils de vérification de l'Inventaire 33



3 [Résultats généraux]

37

- 3.1 - Stocks des déchets radioactifs répertoriés au 31 décembre 2004 39
- 3.2 - Prévisions pour la période 2005-2020 50
- 3.3 - Perspectives post 2020 55
- 3.4 - Le recensement des matières valorisables 58



4 [Inventaire par catégorie de producteurs ou détenteurs] 63

4.1 - Amont du cycle du combustible	65
4.2 - Centres nucléaires de production d'électricité	72
4.3 - Aval du cycle du combustible	84
4.4 - Etablissements de traitement des déchets et de maintenance	94
4.5 - Centres d'études et de recherche du CEA civil	97
4.6 - Etablissements de recherche (hors centres CEA)	105
4.7 - Activités médicales : diagnostic, thérapeutique, analyses	109
4.8 - Activités industrielles diverses : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers	114
4.9 - Industries non nucléaires utilisant des matériaux naturellement radioactifs	124
4.10 - Centres d'études, de production ou d'expérimentation travaillant pour la Force de dissuasion	129
4.11 - Etablissements de la Défense	136
4.12 - Entreposages, stockages	140



5 [Les sites pollués par la radioactivité] 147



6 [Exemples d'inventaires étrangers] 153



[Conclusion] 157



[Annexes] 161

Annexe 1 : La part France des déchets présents à La Hague au 31 décembre 2004	162
Annexe 2 : Les "déchets engagés"	168
Annexe 3 : Glossaire	176

ÉDITION | 2006



Introduction générale



Introduction générale

Connaître les matières et les déchets radioactifs constitue une condition 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 a été menée dans ce domaine, en particulier depuis le vote de la loi du 30 décembre 1991 qui confiait à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (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 collation et de recouplement des données, l'Observatoire de l'Andra a constitué une base de données de qualité sur les déchets existants et leur localisation géographique. Depuis plus de 10 ans, l'Andra publiait ainsi un rapport sur ce thème, dont la dernière édition intitulée « *Où sont les déchets radioactifs en France ?* » a été publiée en 2002.

Chacun de ces rapports présentait les données disponibles sur les déchets radioactifs en les répertoriant en fonction de leur localisation. Cette approche, essentiellement géographique, permet un recensement des déchets radioactifs sur les lieux où ils se trouvent et constitue le socle d'une gestion fiable et précise des déchets, ce qui était l'objectif initial du législateur. En effet, ce dernier visait avant tout à éviter toute présence de déchets non répertoriés sur le territoire national.

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 d'effectuer de totalisations ni de proposer une synthèse quantitative par catégorie de déchets ou par secteur industriel. Enfin, ils comptabilisaient les seuls déchets radioactifs, sans inclure les matières valorisables, à savoir les substances contenant de la radioactivité, mais considérées aujourd'hui comme dotées d'un potentiel de valorisation dans le futur.

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 à haute activité et 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, l'ensemble en adoptant un spectre aussi large que possible pour les substances considérées.

En 1999, le Gouvernement a confié à Yves Le Bars 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.

Yves Le Bars a remis son rapport au Gouvernement au cours de l'année 2000. Intitulé « *Rapport de la mission sur la méthodologie d'inventaire des déchets radioactifs* », il 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. Yves Le Bars y définissait les exigences méthodologiques correspondantes.

Il notait qu'existent, outre l'Observatoire, d'autres recensements des déchets radioactifs disponibles. En effet, pour ses activités industrielles ou de recherche, l'Andra élabore et révisé périodiquement ce que l'on appelle des « modèles d'inventaires ». Ces modèles comportent des prévisions sur la production future des déchets radioactifs. Les quantités y sont généralement évaluées de manière majorante, afin de se prémunir contre le risque de sous-estimation du volume réel des déchets à accueillir. Mais ils se concentrent sur les questions techniques sans offrir de vision synthétique, aisément compréhensible par le grand public. Le rapport Le Bars recommandait de tirer parti de ces efforts antérieurs pour constituer un Inventaire de référence. Il 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 dans cet Inventaire les matières valorisables. 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.

Suite à ce rapport, le secrétaire d'Etat à l'Industrie indiquait, en juin 2001, la décision du Gouvernement de lancer la réalisation d'un Inventaire national de référence des matières et des déchets radioactifs, et en confiait la réalisation à l'Andra. Ce document devait répondre à l'une des principales recommandations du rapport de la Commission



nationale d'évaluation et constituer « *un effort de production, de rassemblement et de diffusion de la connaissance afin de mettre à la disposition du plus large public un ensemble de données précises, factuelles et objectives sur l'état des déchets : nature, conditionnement, inventaire actuel et son évolution, les solutions existantes ou proposées pour leur gestion* ».

Le travail de préparation de l'Inventaire a été amorcé en 2002, selon les instructions du Gouvernement. L'Andra a mis en place un Comité de pilotage réunissant les administrations concernées (ministères chargés de l'Industrie et de l'Environnement, Autorité de sûreté nucléaire), les producteurs de déchets issus de l'électronucléaire et d'autres domaines ; enfin, à titre d'observateurs, des représentants de la Commission nationale d'évaluation et de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Le Comité de pilotage a eu pour vocation d'orienter le projet, de veiller au respect des orientations du rapport Le Bars et de constituer un garant pour les travaux menés dans ce cadre.

Il a été considéré que les deux approches, recensement géographique et inventaire prospectif, étaient complémentaires. En conséquence, elles sont présentées au sein d'un rapport commun. Les informations proposées dans les éditions passées de l'Observatoire ont été conservées, mais enrichies de données de nature synthétique et prospective.

Conformément au rapport Le Bars, le périmètre retenu comprend non seulement les déchets, mais aussi les matières radioactives, aujourd'hui sans emploi mais réutilisables (« valorisables »), à moyen ou long terme.

De manière générale, le rapport donne une information couvrant de manière aussi large que possible le champ des déchets radioactifs existants et à venir. On a retenu le principe d'un rapport de synthèse renvoyant à des données plus détaillées, également disponibles pour le public intéressé. Les données présentées dans ce rapport sont issues d'échanges avec les producteurs de déchets au cours de l'année 2005, et concernent donc les stocks de matières et de déchets arrêtés à fin 2004. Il faut souligner que les données ont été fournies sur la base d'une déclaration volontaire des producteurs. Des procédures permettant d'assurer la qualité du recueil des informations ont été mises en place pour la collecte des données. Des recoupements entre données ont été opérés. Toutefois, l'Andra ne bénéficiant pas de pouvoir de contrôle délégué par la Puissance publique, les éléments demeurent déclaratifs.

Par ailleurs, des prévisions sont présentées pour 2010 et 2020. Elles s'appuient sur des scénarios de production validés par le Comité de pilotage. Les déchets de démantèlement de l'ensemble des installations du parc nucléaire actuel ainsi qu'une extrapolation des déchets produits jusqu'à la fin de vie des centrales, sont également présentés. L'ambition de ce rapport est de contribuer à une gestion transparente et exemplaire des déchets radioactifs, notamment en soulignant la rigueur avec laquelle leur recensement est conduit. 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 l'édition précédente.

Le tableau suivant présente les objectifs et les périmètres respectifs des approches "Observatoire" et " Inventaire national".

ANCIEN RAPPORT DE L'OBSERVATOIRE "DECRIRE ET LOCALISER"	NOUVEAU RAPPORT DE L'INVENTAIRE NATIONAL "REGROUPER ET TOTALISER"
<ul style="list-style-type: none"> • Recensement des déchets présents sur le territoire français : <ul style="list-style-type: none"> - par site géographique - par catégorie de producteurs • Des dossiers sur des thèmes particuliers 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenu du rapport de l'Observatoire maintenu • Inventaire des déchets existants et futurs par familles de déchets (déchets destinés à rester sur le territoire français) • Des totalisations, des synthèses, des statistiques • Matières valorisables (non considérées comme déchets)



1

Les déchets radioactifs



La définition des déchets radioactifs

Les déchets radioactifs conjuguent plusieurs notions, ce qui rend leur définition parfois subtile. Celle retenue pour cet Inventaire des déchets radioactifs en France se fonde sur la définition du déchet au sens large, pour lequel existe une acception légale.

Ainsi, l'article de la loi n° 75-633 de juillet 1975 (article L 541 du Code de l'environnement) indique « *qu'est un déchet au sens de la présente loi 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 de la présente loi 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* ».

Dans son article 4, cette même loi souligne que ses dispositions « *s'appliquent sans préjudice des dispositions spéciales concernant notamment (...) les déchets radioactifs* ».

Ces spécifications ne suffisent pas à clarifier la notion de « déchet radioactif » puisqu'on ne peut considérer que tout déchet émettant des rayonnements relève de cette catégorie. En effet, la majorité des corps sont naturellement radioactifs, à des niveaux souvent très bas, voire non mesurables. De nombreux déchets de la vie courante émettent des rayonnements sans mériter la qualification de déchet radioactif.

En guise de discrimination, certains pays ont défini des seuils dits de libération, exprimés en unité de radioactivité par unité de masse, en dessous desquels on ne considère plus une matière comme radioactive. Mais il n'existe aucun consensus international à ce sujet. Par ailleurs, la directive 96/29 EURATOM du Conseil du 13 mai 1996 a fixé des seuils, non de libération mais d'exemption, sous lesquels l'obligation de déclarer ou de solliciter une autorisation pour la manipulation de matières radioactives n'est plus requise. La France a adopté la notion de seuil d'exemption, mais pas de libération.

Les Pouvoirs publics désignent souvent une substance comme « radioactive » si « *elle ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection* » (décret 2002-460 relatif

à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants). En d'autres termes, les déchets doivent être considérés comme radioactifs s'ils peuvent, dans certaines conditions, entraîner une exposition d'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, 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 sieverts (Sv).

• « A 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 de radioactivité se mesurent 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, dans le cas de déchets contaminés par de la radioactivité naturelle et sans tenir compte du rayonnement naturel ambiant.

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. Sauf dérogation particulière accordée par l'Autorité de sûreté nucléaire, tous les déchets sortant de ces zones sont *a priori* considérés comme radioactifs.

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.

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**

Elle peut évoluer dans le temps. A l'avenir, avec l'évolution des techniques, certains déchets pourraient bénéficier de traitements ou de conditionnements supplémentaires

- **le combustible nucléaire utilisé et les autres matières radioactives (uranium, plutonium ...)**

Ces substances possèdent un potentiel de valorisation, et dès lors elles ne sont pas considérées comme des déchets, tant par leurs détenteurs que par les Pouvoirs publics. Cependant certaines d'entre elles, en attente de valorisation, restent entreposées pour des durées aujourd'hui indéterminées. Il faut prévoir qu'après leur éventuelle future réutilisation, une partie de ces substances engendrera des déchets. En conséquence, on a décrit ces substances radioactives dites valorisables, et actuellement en entreposage, dans des sections distinctes de celles des déchets, à partir d'informations existantes

- **les sites contaminés par la radioactivité**

Toute opération d'assainissement particulière qui y serait menée produirait éventuellement des déchets. Le chapitre 5 de ce rapport leur est consacré. Leur mention ne préjuge pas du fait que des opérations 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 sous forme liquide ou gazeuse dans l'environnement**

La France les distingue des déchets solides ou destinés à être solidifiés. Conformément au rapport sur la méthodologie de l'Inventaire, ils ne relèvent pas du champ couvert car ils sont en général dispersés rapidement dans l'environnement. Ils sont couverts par une réglementation spécifique, le décret 95-540 du 4 mai 1995, qui prévoit notamment que les rejets liquides et gazeux, radioactifs ou non, des installations nucléaires de base sont soumis à autorisation, et ceci après une enquête publique, dès lors qu'ils sont susceptibles de provoquer des pollutions. 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, qui instruit les demandes d'autorisation de rejets, en présente régulièrement des synthèses.

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.

1.2 La classification des déchets radioactifs

La nature physique et chimique, le niveau et le type de radioactivité, sont autant de caractéristiques qui diffèrent d'un déchet à un autre. Leur classification s'impose. Elle définit les catégories ou classes de déchets. Chaque type de déchet appelle la mise en œuvre ou le développement de traitements et de gestions spécifiques, appropriés au risque qu'il présente.

En France, la classification des déchets radioactifs repose sur deux paramètres, le niveau du rayonnement et la période de radioactivité des radionucléides présents dans le déchet ⁽¹⁾. La période quantifie le temps au bout duquel l'activité initiale du radionucléide est divisée par deux.

On distingue les déchets dont les principaux radionucléides ont une période courte (inférieure ou égale à 30 ans) et ceux pour lesquels la période est longue (supérieure à 30 ans). On considère en général que les premiers, à partir du moment où leur radioactivité initiale est faible ou moyenne, perdent leur caractère dangereux au bout de 300 ans au maximum.

Ainsi, 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).

(1) La classification des déchets radioactifs ne différencie pas directement les déchets selon la nature de leur rayonnement, qui peut être alpha, bêta ou gamma. 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.



1

Les déchets radioactifs

On notera le cas particulier des radionucléides utilisés notamment en médecine pour les besoins de diagnostic. Leurs déchets n'entrent pas dans les catégories ci-dessus car ces radionucléides ont une durée de vie très courte (inférieure à 100 jours). Au bout d'un temps réduit (quelques périodes), leur niveau de radioactivité devient très faible, quel que soit le niveau initial. Pour de tels déchets, la notion de « très faible activité, faible activité, moyenne activité » a donc peu de sens.

Le tableau suivant (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, c'est-à-dire à une installation destinée à accueillir des déchets radioactifs de manière définitive, soit à des études destinées à définir une solution technique pour les gérer. Les différentes filières sont décrites de façon plus détaillée dans le paragraphe 1.4. Les entreposages, c'est-à-dire les installations recevant des déchets radioactifs de façon non définitive, ne sont pas mentionnés dans le tableau.

Cette classification a été réalisée progressivement. Elle constitue désormais la référence française. Toutefois, il peut subsister des appellations plus anciennes (telles que « déchets A » pour les déchets FMA-VC, « B » pour les MA-VL, « C » pour les HA).

Cette classification amène deux commentaires :

- **il n'existe pas de critère unique, permettant de déterminer la classe d'un déchet**

Il faut étudier la radioactivité des différents radionucléides présents dans le déchet pour le positionner dans la classification. Cependant, à défaut d'un critère unique, les déchets de chaque catégorie se situent en général dans une gamme de radioactivité totale, indiquée dans les paragraphes suivants

- **la catégorie du déchet n'est pas obligatoirement assimilée à sa filière de gestion**

Par exemple, un déchet peut relever d'une catégorie définie mais ne pas être accepté dans la filière de gestion correspondante du fait d'autres caractéristiques (sa composition chimique, par exemple). Mais ces cas restent limités.

Caractéristiques des différentes catégories de déchets

> Les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et les déchets de haute activité (HA)

Ces déchets rassemblent, dans un volume réduit, la plus grande partie de la radioactivité française et

[Tableau 1.1] Classification française des déchets radioactifs et filières de gestion (existantes ou à l'étude)

	VIE TRES COURTE	VIE COURTE (VC) < 30 ANS	VIE LONGUE (VL) > 30 ANS
TRES FAIBLE ACTIVITE (TFA)	Déchets gérés en laissant décroître la radioactivité sur place	Centre de stockage TFA (*)	
FAIBLE ACTIVITE (FA)		> Centre de stockage de surface (actuellement Centre de stockage FMA de l'Aube)	A l'étude (déchet radifères, déchets de graphite)
MOYENNE ACTIVITE (MA)		> A l'étude pour les déchets tritiés	A l'étude dans le cadre des articles L.542-1 à 14 du Code de l'environnement (loi du 30 décembre 1991)
HAUTE ACTIVITE (HA)		A l'étude dans le cadre des articles L.542-1 à 14 du Code de l'environnement (loi du 30 décembre 1991)	

(*) Il s'agit d'un stockage pour les déchets hors résidus de traitement du minerai d'uranium pour lesquels un stockage à proximité des sites de production est mis en œuvre.



proviennent pour l'essentiel de l'industrie électro-nucléaire. Les déchets HA, également appelés déchets C par les exploitants, ont généralement pour origine les produits de fission et les actinides mineurs issus des combustibles usés et conditionnés lors des opérations de traitement (voir sous-chapitre 4.3). Ces déchets comportent une très forte concentration de radionucléides et dégagent de la chaleur, en moyenne 1 900 watts par conteneur à la date de fabrication. Avec les développements techniques en cours, à savoir une réduction du volume des déchets induisant une concentration accrue de radionucléides, le dégagement de chaleur des nouveaux conteneurs produits devrait croître et atteindre en moyenne 2 200 watts dans quelques années.

Les déchets MA-VL, également appelés déchets B par les exploitants nucléaires, proviennent majoritairement des structures de combustibles usés (coques et embouts) ou sont des déchets provenant du traitement des effluents, d'équipements... Leur niveau de radioactivité, en particulier celle due aux radionucléides à vie longue, n'autorise pas leur accueil sur le Centre de stockage FMA de l'Aube.

Tous ces déchets, MA-VL et HA, sont actuellement entreposés sur les sites des usines de traitement des combustibles usés et dans les Centres de recherche du CEA. Des recherches pour la gestion des déchets MA-VL et HA ont été menées suivant les axes définis par la loi du 30 décembre 1991, comme cela est indiqué au paragraphe 1.4.6 ci-après.

Le niveau de radioactivité des déchets HA se situe dans des gammes 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)

On fait habituellement entrer dans cette catégorie deux types de déchets : les déchets dits radifères et les déchets dits graphites.

Les déchets radifères contiennent une quantité notable de radium 226 et/ou de thorium 232 et/ou d'uranium 235 (radionucléides naturels à vie longue). Ils résultent, en grande partie, de l'utilisation de minerais naturellement radioactifs à des fins industrielles comme l'extraction de terres rares. Le procédé conduit à concentrer une partie de la radioactivité dans les résidus : la dénomination de

« naturel renforcé » est parfois attribuée à ce type de déchets. Les peintures luminescentes ou des objets comme les têtes de paratonnerres, ainsi qu'une partie des déchets d'assainissement des sites pollués peuvent également relever des déchets radifères.

Les déchets graphites proviennent des centrales dites uranium naturel graphite gaz maintenant arrêtées. Ils sont décrits dans le sous-chapitre 4.2 (Production d'électricité nucléaire).

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 graphites. Les radionucléides sont essentiellement des émetteurs bêta-gamma à vie longue.

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

La radioactivité des déchets FMA-VC, également appelés déchets A par les exploitants nucléaires, résulte principalement de la présence de radionucléides émetteurs de rayonnements bêta ou gamma de période inférieure ou égale à 30 ans. Dans ces déchets, les radionucléides à vie longue (période supérieure à 30 ans), en particulier ceux émetteurs de rayonnements alpha, sont strictement limités réglementairement. Ainsi la quantité d'émetteurs alpha de chaque colis de déchets ne peut dépasser 3 700 Bq par gramme. Les FMA-VC sont essentiellement des déchets de maintenance (équipements, outils, chiffons de nettoyage...) ou liés au fonctionnement des installations, comme ceux résultant du traitement d'effluents liquides et gazeux d'installations nucléaires. Ils peuvent également provenir d'opérations de démantèlement.

La solution technique adoptée pour cette catégorie de déchets est l'évacuation, directe ou après traitement, vers un Centre de stockage de surface. 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.

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. Ils sont actuellement entreposés dans des conditions sûres.

> 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 et moyenne activité (FMA), 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). Aujourd'hui les déchets TFA proviennent essentiellement du démantèlement des installations nucléaires ou d'industries classiques utilisant des matériaux naturellement radioactifs. Certains déchets d'exploitation des installations et d'assainissement des sites pollués, dans la mesure où leur niveau de radioactivité est compatible avec les spécifications du Centre de stockage correspondant, peuvent également relever de la classe TFA.

Ils se présentent en général sous forme de déchets inertes (bétons, gravats, terres) ou de produits assimilables aux déchets industriels banals ou aux déchets dits dangereux d'après la réglementation, c'est-à-dire comportant des espèces chimiques toxiques. Un Centre de stockage dédié à ces déchets a été mis en service en août 2003.

La production de déchets TFA augmentera largement avec le démantèlement à grande échelle des centrales nucléaires de production d'électricité.

Il faut rappeler que des déchets à vie longue, de niveau d'activité comparable à celui des TFA, ont été produits en quantité importante dans le passé : il s'agit des résidus de traitement des minerais d'uranium. Ces derniers font l'objet d'un stockage à proximité des sites miniers de production et ne relèvent pas du Centre de stockage des déchets TFA.

Le niveau de radioactivité de ces déchets est en général inférieur à 100 Bq/g.

L'origine des déchets radioactifs

Les nombreuses utilisations des propriétés de la radioactivité produisent, depuis le début du 20^e 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 a choisi de décrire l'origine des déchets radioactifs selon 12 catégories 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 12 catégories de producteurs ou détenteurs. Les installations correspondantes sont décrites avec plus de détails dans le chapitre 4.

Les 12 catégories sont aussi mises en correspondance avec cinq grands secteurs économiques. Ainsi la présentation des totalisations fournies par l'Inventaire national dans le chapitre 3 est-elle simplifiée.

Les deux approches, l'une par catégorie d'activité à l'origine des déchets et l'autre par secteur économique, sont complémentaires même si certaines catégories concernent plusieurs secteurs économiques (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, la catégorie des entreposages spécifiques et des stockages (catégorie 12), du fait de la multiplicité d'origine des déchets accueillis par ces installations, concerne les cinq secteurs. (tableau 1.3)

Enfin, dans cette édition de l'Inventaire national, en réponse à une demande de son comité de pilotage, la répartition des déchets par propriétaire est également présentée au chapitre 3.



[Tableau 1.2] Producteurs ou détenteurs de déchets radioactifs - 12 catégories d'activité

1	AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE
2	CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ
3	AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE
4	ETABLISSEMENTS DE TRAITEMENT DES DÉCHETS OU DE MAINTENANCE
5	CENTRES D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE DU CEA CIVIL
6	ETABLISSEMENTS 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	ETABLISSEMENTS 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 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] Catégories d'activités et secteurs économiques à l'origine des déchets radioactifs

CATEGORIE D'ACTIVITÉ	SECTEURS ECONOMIQUES
1 AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	<ul style="list-style-type: none"> • Production électronucléaire • Défense (marginal)
2 CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	<ul style="list-style-type: none"> • Production électronucléaire
3 AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	<ul style="list-style-type: none"> • Production électronucléaire • Recherche (marginal) • Défense (marginal)
4 ETABLISSEMENTS DE TRAITEMENT DES DÉCHETS OU DE MAINTENANCE	<ul style="list-style-type: none"> • Production électronucléaire • Recherche • Défense
5 CENTRES D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE DU CEA CIVIL	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche • Médical
6 ETABLISSEMENTS DE RECHERCHE, HORS CENTRES CEA (physique, chimie, recherche biomédicale)	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche • Médical
7 ACTIVITÉS MÉDICALES : diagnostic, thérapeutique, analyses	<ul style="list-style-type: none"> • Médical
8 ACTIVITÉS INDUSTRIELLES DIVERSES : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers	<ul style="list-style-type: none"> • Industrie non électronucléaire
9 INDUSTRIE NON NUCLÉAIRE UTILISANT DES MATÉRIAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS	<ul style="list-style-type: none"> • Industrie non électronucléaire
10 CENTRES D'ÉTUDES, DE PRODUCTION OU D'EXPÉRIMENTATION TRAVAILLANT POUR LA FORCE DE DISSUASION	<ul style="list-style-type: none"> • Défense
11 ETABLISSEMENTS DE LA DÉFENSE, DGA, SSA, ARMÉE DE TERRE/AIR/MER, GENDARMERIE	<ul style="list-style-type: none"> • Défense
12 ENTREPOSAGES ET STOCKAGES	<ul style="list-style-type: none"> • Production électronucléaire, • Recherche • Médical • Défense • Industrie non électronucléaire



La gestion des déchets radioactifs

1.4.1 [Les acteurs de la gestion des déchets fin 2005]

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 [I], qui définit des principes de gestion.

La gestion des déchets radioactifs s'inscrit également dans un cadre législatif. La loi du 15 juillet 1975 (article L.541 du Code de l'environnement) [II] définit les principes de gestion des déchets de toute nature ; elle s'applique en particulier aux déchets radioactifs. La loi du 30 décembre 1991 (articles L.542-1 à 14, du Code de l'environnement) [III] traite quant à elle de la question spécifique des déchets radioactifs. Elle définit en particulier le rôle et les missions de l'Andra, pose des principes de gestion des déchets radioactifs et détermine des axes de recherche pour les déchets de haute activité à vie longue. 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 (voir par exemple [IV]).

La loi du 30 décembre 1991 a créé plus particulièrement la commission nationale d'évaluation, chargée du suivi de l'avancement des programmes de recherche sur les déchets de haute activité et à vie longue. La commission publie annuellement un rapport qui est soumis à l'OPECST (voir paragraphe 1.4.6) [V].

Dans le cadre fixé par la loi, les Ministères en charge de l'industrie, de la recherche et de l'environnement définissent la politique générale de gestion des déchets radioactifs. Pour mettre en œuvre cette politique, la loi a créé un établissement public autonome, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), indépendante des producteurs de déchets. Les Pouvoirs publics fixent les objectifs de l'Andra au travers d'un contrat quadriennal. Sa dernière version couvre la période 2005 - 2008. Il est disponible notamment sur le site internet de l'Andra [VI].

Le contrat quadriennal fixe trois missions pour l'Andra :

- une mission industrielle, qui consiste à prendre en charge les déchets radioactifs qui disposent d'une solution de gestion opérationnelle (voir paragraphe 1.4.5). Dans ce cadre, l'Andra exploite les Centres de stockage de la Manche et de l'Aube. Elle édicte les exigences auxquels les déchets et leur conditionnement (voir paragraphe 1.4.3.) doivent répondre. Elle prononce l'acceptation ou non des colis de déchets que les producteurs lui soumettent pour examen technique. Elle assure la surveillance de l'environnement des Centres et elle est responsable de leur sûreté, non seulement pendant la durée de l'exploitation mais également à long terme, après fermeture. Dans le cadre de sa mission industrielle, l'Andra conduit également le projet de stockage des déchets radifères et graphites (voir paragraphe 1.4.6)
- une mission de recherche, relative aux déchets n'ayant pas à ce jour de filière de gestion à long terme. Cette mission couvre les déchets de moyenne activité à vie longue et les déchets de haute activité, pour lesquels l'Andra pilote les recherches sur le stockage en formation géologique (voir paragraphe 1.4.6), en lien avec la communauté scientifique nationale et internationale. Les autres voies de recherche (voir paragraphe 1.4.6) sont pilotées par le Commissariat à l'Energie Atomique
- une mission d'information du public sur les déchets radioactifs. C'est dans le cadre de cette mission qu'est régulièrement publié l'Inventaire national.

En plus du contrat passé avec l'Andra, les Pouvoirs publics interviennent également dans la définition des options de gestion des déchets ainsi que des modes de financement. Ainsi, la direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP), au sein du Ministère chargé de l'Industrie, assure la tutelle de l'ensemble des établissements du secteur nucléaire pour le compte du ministre chargé de l'énergie et veille à ce titre à la définition de la politique nationale en matière de gestion des déchets radioactifs et à sa mise en œuvre par les opérateurs de la filière.

La direction de la technologie (DT), au sein du Ministère chargé de la Recherche, pilote un groupe stratégique sur le cycle du combustible nucléaire et publie régulièrement un rapport sur l'avancement des recherches sur la gestion des déchets [VII]. La direction de la prévention des pollutions et des risques (DPPR), au sein du Ministère chargé de l'Environnement, 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 centres de stockage de déchets classiques.



Les producteurs de déchets radioactifs sont les industriels qui, dans le cadre d'activités de service ou de production, 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 [VIII]. 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 jusqu'aux Centres de l'Andra. Seule exception à ce principe, les « petits producteurs », tels que les petits laboratoires de recherche ou les hôpitaux, pour lesquels l'Andra assure elle-même la collecte et le traitement des déchets (voir chapitre 4). Au titre du principe « pollueur - payeur », les producteurs de déchets financent la prise en charge des déchets dans les Centres de stockage, la surveillance de ceux-ci, ainsi que les recherches encadrées par la loi sur le stockage en formation géologique.

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) assure le contrôle des producteurs de déchets et de l'Andra. Elle instruit également les procédures d'autorisation des installations nucléaires, 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.

L'Autorité de sûreté nucléaire pilote depuis 2003, pour le compte des Pouvoirs publics, les travaux visant à élaborer un Plan national de gestion des déchets radioactifs et des matières valorisables (PNGDR-MV) au sein d'un groupe de travail qui réunit les administrations, des producteurs de déchets, des gestionnaires de déchets dont l'Andra, et des associations de protection de l'environnement. Le PNGDR-MV se fonde sur les données de l'Inventaire national pour identifier les cas pour lesquels il n'existe pas de filière de gestion des déchets à long terme et propose un certain nombre d'actions et les échéances associées [IX].

Le rôle des acteurs tel que défini en 2005, ne préjuge pas des évolutions susceptibles d'intervenir à la suite des décisions qui pourraient être prises dans le cadre de la nouvelle loi sur la gestion des déchets radioactifs dont le projet doit être présenté au Parlement au printemps 2006.

1.4.2 [Les principes généraux de la gestion des déchets radioactifs]

La loi du 15 juillet 1975 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, la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (voir paragraphe 1.4.1) indique que leur gestion doit être assurée dans le respect de la protection de la nature, de l'environnement, et de la santé, en prenant en considération les droits des générations futures.

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

- des dispositions de nature réglementaire 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. Dans ces optiques, des études de R&D (recherche et développement) sont souvent nécessaires et sont menées par différents organismes dont le CEA
- 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 des exploitants/producteurs de déchets, soit de stockage (solution définitive) dont la responsabilité incombe à l'Andra
- des opérations de transport et de mise en entreposage ou en stockage, incluant les aspects de suivi et de surveillance, jusque 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 le gestionnaire 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.

Le **traitement** des déchets radioactifs consiste à transformer le déchet initial en un déchet présentant des caractéristiques plus appropriées pour sa gestion, notamment en termes de volumes.

A titre d'exemple, on peut citer : le traitement de liquides, l'incinération, le compactage et la fusion ⁽²⁾.

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, ou 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 pour les déchets accueillis au Centre de stockage FMA

de l'Aube, ou pour les déchets liquides dont le traitement et le conditionnement se font souvent en une seule opération. Il n'est pas systématique dans les autres cas. 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 souvent appelés **colis**.

Aujourd'hui, les producteurs de déchets définissent et mettent en œuvre les modes de conditionnement de la plupart des déchets qu'ils produisent. Les stocks non conditionnés correspondent uniquement à des « objets tampons », en attente de conditionnement.

Cependant, dans des cas particuliers qui sont décrits au chapitre 4, des déchets anciens qui avaient été, soit traités selon les normes de l'époque, soit laissés en attente, doivent faire l'objet d'une reprise pour être selon les cas conditionnés, re-conditionnés, ou re-entreposés dans de meilleures conditions. On parle alors d'opération de RCD (reprise et conditionnement des déchets). AREVA (COGEMA) en pratique sur les sites de Marcoule et La Hague, et le CEA sur certains de ses sites, notamment Cadarache.

1.4.4. [La réduction des volumes des déchets]

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)

(2) 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. La fusion de ferrailles représente un cas particulier de traitement de déchets car les lingots produits peuvent être stockés directement sans opération supplémentaire.



[Graphique 1.1] Bilan des livraisons des colis de déchets sur le Centre de stockage de la Manche (CSM), puis sur le Centre de stockage FMA de l'Aube (CSFMA)



A 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 chuté en l'espace d'une vingtaine d'années puisque le volume des colis concernés est passé d'environ 80 m³/TWhe de production d'électricité en 1985, à un peu moins de 14 m³/TWhe aujourd'hui.

Cette valeur correspond à une production moyenne d'environ 100 m³ 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 COGEMA dans l'usine de La Hague, a réduit d'un facteur 4 les volumes de déchets de structures du combustible utilisé (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 COGEMA, lors de la conception des usines, de l'ordre de 3 m³ à la tonne de combustible traité, à moins de 0,5 m³ actuellement.

Ces réductions de volumes ont été obtenues grâce aux recherches menées par les producteurs électronucléaires.

Elles ont abouti aux actions concrètes suivantes, mises en place essentiellement dans les années 1985 à 1995 :

- 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.



1

Les déchets radioactifs

Exemples de filières de gestion

Les déchets vitrifiés

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.



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

Le devenir de ces déchets est étudié dans le cadre des recherches conduites par le CEA et l'Andra pour répondre à la loi du 30 décembre 1991.

Les éléments de structure du combustible usé

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



La première étape du procédé de traitement des combustibles usés consiste à les cisailer 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 ».



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

Le devenir des CSD-C est étudié dans le cadre des recherches conduites par le CEA et l'Andra pour répondre à la loi du 30 décembre 1991.



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 ».



Cuves de la station STE2



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

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



Le devenir des enrobés bitumineux de La Hague est étudié dans le cadre des recherches conduites par le CEA et l'Andra pour répondre à la loi du 30 décembre 1991.

Les déchets FMA-vie courte : exemple des filtres EDF

Les filtres placés sur 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 de l'Aube de l'Andra, où elles sont placées dans les ouvrages de stockage



1

Les déchets radioactifs

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 cette nature : 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. Ils sont décrits de manière plus détaillée dans le sous chapitre 4.12 qui leur est consacré.

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

A 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 techniques pour les déchets dangereux de l'industrie chimique. Ce Centre est entré en exploitation en août 2003. Il est décrit avec plus de détails au sous-chapitre 4.12.

Le tableau 1.4 récapitule les solutions existantes.

[Tableau 1.4]

STOCKAGES	QUANTITES	EXEMPLES DE DECHETS	REMARQUES
Centre de stockage de la Manche	527 000 m ³	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	167 823 m ³ au 31 décembre 2004	Déchets FMA-VC : > Déchets solides de maintenance > Boues cimentées > Résines...	> Début d'exploitation janvier 1992 > Capacité d'accueil pour 1 000 000 m ³
Centre de stockage de très faible activité à Morvilliers (Aube)	16 644 m ³ au 31 décembre 2004	Déchets TFA : > Gravats, ferrailles issus des démantèlements > Déchets industriels spéciaux...	> Ouverture du Centre en août 2003 > Capacité d'accueil pour 650 000 m ³

1.4.6. [Les solutions à l'étude pour la gestion à long terme des déchets radioactifs]

- **Les solutions pour les déchets FMA tritiés**

En liaison avec l'Andra, la Direction des applications militaires du CEA étudie des modalités de gestion adaptées pour ces déchets qui ne peuvent être stockés au Centre de stockage FMA de l'Aube, à cause du risque de marquage de l'environnement par le tritium, élément très mobile. Ils sont pour l'instant entreposés, ce qui permet au tritium de décroître.

- **Un stockage pour les déchets de faible activité et à vie longue (FA-VL) radifères**

L'Andra étudie actuellement la possibilité de réaliser un centre de stockage dédié aux déchets radifères.

Dans le concept envisagé, les colis de déchets seraient placés dans des alvéoles creusées à une quinzaine de mètres de profondeur (concept dit de sub-surface), dans un terrain argileux propice, grâce à ses propriétés d'imperméabilité. Le stockage serait ensuite recouvert par de l'argile compactée qui permettrait de le protéger durablement des eaux de pluie, des risques d'intrusion, et d'empêcher des remontées possibles de gaz radon.

- **Un stockage pour les déchets FA-VL graphites**

L'Andra étudie un concept en sub-surface dans l'argile, dans lequel les déchets graphites, une fois conditionnés dans des colis adaptés, seraient placés dans des ouvrages bétonnés protégés ensuite par une couverture argileuse. Ce stockage pourrait être commun avec celui dédié aux déchets radifères.



L'Andra a déposé auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire des dossiers décrivant les deux projets de stockage pour les déchets radifères et les déchets graphites. Celle-ci a donné un avis positif sur le concept destiné aux radifères, et instruit actuellement la question du stockage graphites. Le contrat quadriennal passé entre les Pouvoirs publics et l'Andra pour la période 2005 - 2008 indique que « l'objectif est de parvenir à un centre industriel disponible à l'horizon 2012-2013. »

• **Les recherches menées au sujet des déchets à haute activité et à vie longue (MA-VL et HA)**

Conformément à la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 (articles L.542-1 à 14, du Code de l'environnement), les recherches sur le devenir de ces déchets s'organisent autour de trois axes :

- la recherche de solutions permettant la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans ces déchets
- l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains
- l'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface de ces déchets.

Le Commissariat à l'Energie Atomique pilote les recherches effectuées au titre des axes 1 et 3 définis ci-dessus, et l'Andra celles relatives à l'axe 2.

La loi précise qu'« à l'issue d'une période qui ne pourra excéder quinze ans à compter de la promulgation de la présente loi, le Gouvernement adressera au Parlement un rapport global d'évaluation de ces recherches accompagné d'un projet de loi autorisant, le cas échéant, la création d'un centre de stockage des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue et fixant le régime des servitudes et des sujétions afférentes à ce centre ».

C'est dans ce cadre également qu'a été créée la Commission nationale d'évaluation pour établir des rapports évaluant l'avancement et l'état des recherches menées. Le Parlement saisi de ces rapports l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

Les pilotes des recherches ont rendu une première version de leurs rapports techniques le 30 juin 2005. Ces rapports ont fait l'objet d'un examen par les autorités compétentes (auditions de la Commission nationale d'évaluation, revue par les experts de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique à la demande des Pouvoirs publics, examen par l'Autorité de sûreté nucléaire), en prélude à la préparation d'un projet de loi qui sera examiné courant 2006 par le Parlement.

Le tableau 1.5 récapitule les solutions à l'étude décrites dans le paragraphe ci-dessus.

[Tableau 1.5]

		QUELQUES EXEMPLES DE DECHETS	REMARQUES	ECEANCE
DECHETS FMA-VC TRITIÉS		<ul style="list-style-type: none"> • Déchets solides de maintenance induits par la fabrication d'armes de la Force de dissuasion 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes en cours 	
FA / VL	DECHETS RADIFÈRES	<ul style="list-style-type: none"> • « Naturel renforcé » issu d'industries non nucléaires • Produits d'assainissement de sites pollués • Objets divers 	<ul style="list-style-type: none"> • Projet de site en sub-surface à l'étude 	2012- 2013
	DECHETS GRAPHITES	Chemises et empilements (voir explications au 4.2)	Analyse de faisabilité d'un stockage dans les mêmes formations que celles retenues pour les radifères	2012 - 2013
DECHETS MA-VL		<ul style="list-style-type: none"> • Gaines de combustible • Boues de traitement d'effluents bitumées • Déchets de maintenance cimentés 	Loi du 30 décembre 1991 organisant les recherches selon 3 voies	Débat parlementaire en 2006
DECHETS HA		<ul style="list-style-type: none"> • Produits de fission et actinides mineurs vitrifiés 	Loi du 30 décembre 1991 organisant les recherches selon 3 voies	Débat parlementaire en 2006



1.4.7. [Les cas particuliers]

Certains déchets appellent des modes de gestion spécifiques :

- 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 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
- certains objets, qui ne relèvent pas directement d'une des filières de gestion existantes (cf. paragraphe 1.4.5) ou à l'étude (cf. paragraphe 1.4.6). Parmi eux, des déchets spécifiques en faibles quantités, 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 et solvants fortement radioactifs, les sources scellées quand elles ne sont pas reprises par les fabricants étrangers.

Références :

- (I) Joint convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management, disponible sur <http://www-ns.iaea.org/conventions/waste-jointconvention.htm>
- (II) Loi 75-633 du 15 juillet 1975 relative à la gestion à long terme des déchets et à la récupération des matériaux.
- (III) Loi 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs
- (IV) L'état d'avancement et les perspectives des recherches sur la gestion des déchets radioactifs. Rapport de l'OPECST n° 250 (2004-2005) du 16 mars 2005 - par MM. Christian BATAILLE, député et Claude BIRRAUX, député, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, disponible notamment sur http://www.senat.fr/rap_offices.html
- (V) Rapports de la commission nationale d'évaluation, disponibles notamment sur <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports/index.shtml>
- (VI) Contrat quadriennal Etat - Andra 2005 - 2008, disponible sur <http://www.andra.fr>
- (VII) Rapport « stratégie et programmes de recherche sur la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue (au titre de l'article L 542 du code de l'environnement issu de la loi du 30 décembre 1991) »
- (VIII) Arrêté du 10 août 1984 relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base.
- (IX) PNGDR-MV (plan national de gestion des déchets radioactifs et des matières valorisables), disponible sur le site de l'Autorité de sûreté nucléaire, <http://www.asn.gouv.fr>.

2



Comment faire l'Inventaire ? La méthodologie



Comment fait-on l'Inventaire ? Méthodologie utilisée pour recenser et comptabiliser les déchets

2.1

Organisation retenue pour le recensement des déchets radioactifs

2.1.1. [Principes]

Une méthodologie stricte et des procédures rigoureuses de vérification des dossiers sous-tendent la réalisation de cet Inventaire des déchets et des matières radioactifs. Leur mise au point s'est élaborée sur la base du rapport de la mission de réflexion méthodologique menée par le président de l'Andra (1999-2000), à la demande du Gouvernement, en vue de « proposer toute réforme visant à fiabiliser » l'Inventaire.

Celui-ci poursuit un double objectif :

- recenser les déchets sur le territoire français, auprès de chaque détenteur. L'Andra accomplit ce travail d'interrogation de longue haleine depuis 1992. Le paragraphe 2.2 décrit les méthodes employées
- établir une vue synthétique des déchets présents et à venir selon des scénarios prévisionnels à horizon 2010 et 2020. Ce second aspect est plus récent. Les paragraphes 2.3 et 2.4 décrivent son mode de constitution.

Cinq principes directeurs ont régi l'élaboration de ces deux recensements et en garantissent la fiabilité, la qualité et le caractère de référence.

Les principes de réalisation

> **disponibilité** : répondre à l'exigence d'information des citoyens par une mise en forme des données rendues compréhensibles pour un large public, sans abuser d'un vocabulaire technique. Parallèlement, les Pouvoirs publics doivent disposer d'un outil d'aide à la décision, fondé sur des informations précises et actualisées. L'objectif de plus long terme est également d'entretenir la mémoire de la localisation des déchets par une publication périodique de l'Inventaire

> **exhaustivité** : recenser les déchets existants liés aux productions récentes et actuelles, mais aussi aux productions du passé depuis le début des utilisations industrielles, militaires, 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), 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 entreposages des déchets. Il concerne également toutes les installations possédant, même à titre provisoire, des déchets 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 valorisables, qui ne sont pas des déchets

> **neutralité** : retranscrire les informations recueillies de manière factuelle, sans porter de jugement sur le caractère dangereux éventuel des produits décrits

> **transparence** : ce rapport présente une image de l'ensemble des déchets radioactifs, quelle que soit leur origine. Il se veut complémentaire des efforts de transparence, engagés depuis plusieurs années par les producteurs de déchets et l'Autorité de sûreté nucléaire

> **responsabilité du déclarant** : le recensement repose sur la libre déclaration de chaque producteur qui est individuellement sollicité. En effet, l'Andra n'a aucun pouvoir de contrôle et n'entend pas se substituer aux actions des différentes autorités de l'Etat en matière de sûreté, de protection sanitaire ou de contrôle du respect de la réglementation, qui relèvent de différentes administrations. Chaque producteur est et reste donc responsable de sa déclaration.

L'Andra collecte les données grâce à des outils appropriés et diffuse l'information. Elle se charge de la retranscrire sous la forme la plus claire et la plus adaptée. Dans la pratique, un dialogue s'établit systématiquement entre les producteurs et l'Andra lors de la déclaration, avec un souci constant de fiabilité, de précision et de complétude des informations.

2.1.2. [Le rôle du Comité de pilotage dans la préparation de l'Inventaire national]

La réflexion menée par l'Andra en prélude à la constitution de l'Inventaire, et la consultation des principaux acteurs concernés, ont montré la pertinence de la création d'un



Comité de pilotage extérieur à l'Agence. Chargé d'assurer la mise en place de l'Inventaire national, il fait cohabiter :

- les administrations concernées (représentants des Ministères chargés de l'Industrie, de l'Environnement, et de l'Autorité de sûreté)
- des représentants des producteurs de déchets (électronucléaire et hors électronucléaire)
- un représentant de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques à titre d'observateur
- le secrétaire scientifique de la Commission nationale d'évaluation (CNE), à titre d'observateur.

Ce Comité a supervisé la réalisation du projet, d'abord en validant le cahier des charges détaillé, établi sur la base du rapport de mission du président de l'Andra sur la méthodologie. Il s'est assuré de la rigueur de la démarche (hypothèses, scénarios, méthodes de recueil des données, nature des informations). A ce titre, il a approuvé la structure générale du rapport ainsi que sa stratégie d'élaboration. Il a donc assuré la construction d'un outil pertinent, adapté à l'ensemble des utilisateurs et intégrant les préoccupations de tous les acteurs concernés.

Plus en aval du projet, le Comité s'est chargé de la validation générale des données. Selon le principe directeur de « responsabilité du déclarant », le détenteur est responsable in fine de sa déclaration. Dans ce contexte, le Comité constitue le garant de la rigueur et de la qualité de la méthode d'obtention et de validation des données présentées.

Cette validation recouvre plusieurs aspects :

- la cohérence d'ensemble des volumes de déchets existants présentés dans l'Inventaire
- la fiabilité des sources ayant permis de recueillir les volumes détaillés de déchets actuellement produits
- la crédibilité des hypothèses et des scénarios prévisionnels des stocks de déchets futurs. La difficulté essentielle tient aux évolutions possibles de stratégie des différents acteurs et de l'instruction des dossiers techniques correspondants.

2.2

La construction du recensement des déchets radioactifs

Le recensement des déchets, effectué selon les principes énoncés au paragraphe précédent, varie selon le producteur-détenteur interrogé. En effet, chaque type de détenteur de déchets (gros ou petit producteur, industriel du nucléaire, gestionnaire d'un site recevant occasionnellement des déchets radioactifs, responsable d'un laboratoire médical utilisateur de radionucléides ou encore propriétaire d'un site pollué...) requiert un mode d'interrogation spécifique.

L'Andra occupe une position privilégiée pour cette mission, du fait de sa connaissance des producteurs.

Par ailleurs, l'information recueillie est corrélée avec les nombreuses autres sources dont dispose l'Agence. Ces dernières se documentent via le dialogue permanent entretenu avec les administrations de contrôle des producteurs, par des veilles documentaires voire, le cas échéant, par le canal d'enquêtes historiques ciblées.

D'un point de vue pratique, la déclaration des producteurs est systématiquement sollicitée par courrier avec la possibilité, pour les principaux d'entre eux, d'utiliser un outil informatique de collecte compatible avec une base de données centralisée au siège de l'Andra.

2.2.1. [Les sites déjà recensés : l'actualisation des données]

La collecte des données fait l'objet de fiches pour les détenteurs de déchets les plus importants, et de tableaux pour les plus petits producteurs. Ces fiches et tableaux sont présentés dans un volume séparé (Inventaire géographique) dont ce rapport exploite les données.

L'actualisation des tableaux concernant les petits producteurs permet de connaître, établissement par établissement, les radionucléides réellement utilisés et d'identifier les lieux où se pratique la décroissance sur place des déchets à vie très courte. Ce travail permet de présenter la situation réelle, telle qu'elle existe sur le terrain et de tendre vers l'exhaustivité.

Il faut noter que, pour le cas particulier des sites pollués, l'interlocuteur n'est pas toujours un industriel identifié ; il s'agit souvent d'une personne ou d'un organisme privé, ou encore d'une structure de gestion de faillite si l'industriel a abandonné le site, voire d'une collectivité.



2.2.2. [L'identification des nouveaux sites]

Ces cas touchent souvent aux limites du système de la déclaration volontaire dans la mesure où l'interlocuteur-proprétaire n'est pas toujours identifié. Une information sûre peut être difficile à obtenir, et/ou longue à confirmer.

Lorsque la présence de déchets radioactifs est avérée sur des sites non encore répertoriés, ils intègrent l'Inventaire.

Trois domaines, ne relevant pas des producteurs institutionnels, réclament des mises à jour régulières :

- **les "petits producteurs" du domaine hospitalo-universitaire**

Nombreux et géographiquement dispersés, ils ne bénéficient pas d'un fichier central regroupant les unités qui utilisent réellement des radionucléides. De nouveaux détenteurs peuvent donc apparaître à chaque recensement, d'autres disparaître

- **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 grâce à des investigations sur les industries qui utilisaient ce radioélément au début du 20^e siècle.

Dans le cadre de la circulaire de mai 1997 relative à la procédure administrative applicable aux sites pollués, les DRIRE (Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement) peuvent également « ... porter à la connaissance de l'Andra toutes les informations susceptibles de compléter ou de préciser » le recensement des sites pollués

- **les industries non nucléaires engendrant des déchets radioactifs**

Cette catégorie recouvre une grande variété de producteurs, dont les déchets ne présentent parfois que des niveaux faibles de radioactivité. Le domaine est mieux cerné depuis une dizaine d'années. Leur recensement détaillé pourra se préciser au fil des éditions de l'Inventaire.

2.2.3. [La gestion informatique des données]

Une fois contrôlées par les ingénieurs de l'Andra, les données issues du recensement sont introduites dans une base de données informatisée. Elle permet de relier l'Inventaire

géographique aux états de synthèse et de vérifier leur cohérence.

La comptabilisation et la prospective des déchets

2.3.1. [Les principes]

Le recensement effectué selon les préconisations précédentes conduit à un nombre élevé de déchets déclarés. La synthèse des stocks existants utilise ce recensement très détaillé. En revanche, les déchets ont été regroupés par familles, 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 une centaine de familles :

- **la catégorie du déchet au sein de la classification française**, depuis la très faible activité jusqu'à la haute activité (cf. paragraphe 1.2)

- **l'origine**

Elle concerne les activités industrielles produisant les déchets (cf. paragraphe 1.3)

- **la nature du déchet brut avant conditionnement**

Elle décrit les grandes caractéristiques physiques et chimiques du déchet : produits de fission et actinides mineurs, structures des assemblages de combustibles (gainés, embouts), résines d'épuration d'eau, boues ou concentrats, déchets solides de maintenance, etc

- **l'état de la production du déchet brut**

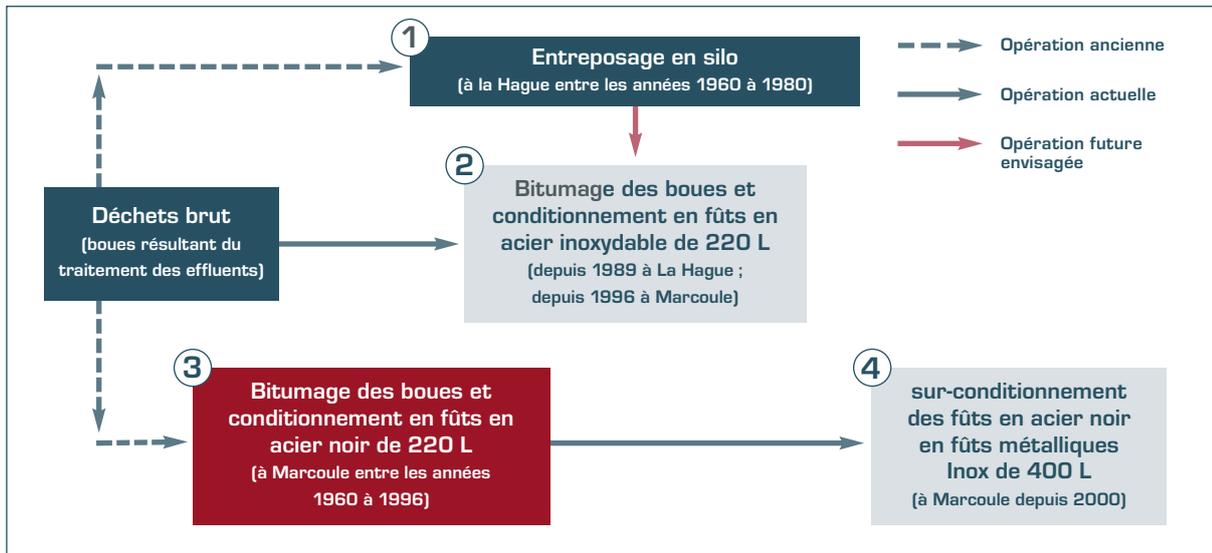
Production terminée, encore produit, production non démarrée

- **l'état du conditionnement**

Le déchet peut se présenter sous trois formes : conditionné, préconditionné ou non conditionné. Il est qualifié de conditionné quand il est intégré à un colis (cf. paragraphe 1.4.2). Le déchet préconditionné a reçu un traitement/conditionnement partiel qui s'intégrera au colis final. Enfin, le déchet est qualifié de non conditionné dans les autres cas. La planche illustrative suivante montre l'exemple des étapes de conditionnement des déchets résultant du traitement des effluents de la Hague et de Marcoule



[Schéma 2.3] Exemple du conditionnement par bitumage pour les boues résultant du traitement des effluents de La Hague et de Marcoule



Avec la convention retenue par l'Inventaire National, les boues n°1 sont considérées comme non-conditionnées, les déchets n°2 et n°4 étant considérés comme conditionnés. En revanche, les fûts de bitume n°3 doivent encore connaître une étape de conditionnement pour permettre leur entreposage dans un conteneur Inox.

• le mode de conditionnement réel ou prévu

Il s'agit du matériau de la matrice et de celui du conteneur (cf. paragraphe 1.4.3).

La plupart des pays ont également adopté une classification des déchets par famille dans leurs Inventaires respectifs. Mais le niveau de détail retenu diffère d'un pays à l'autre. Ici, l'Inventaire 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 et celle de l'Inventaire.

La description détaillée de chaque famille de l'Inventaire fait l'objet d'un Catalogue. On trouvera dans ce rapport des informations synthétiques générales, ainsi que par type d'activité productrice ou détentrice.

2.3.2. [L'établissement des synthèses et des prévisions]

Les données de synthèse chiffrées englobent les quantités déjà produites mais aussi les quantités futures. Celles-ci sont

déterminées grâce aux scénarios décrits au chapitre 4 ou en déclinant des hypothèses particulières. Ces dernières sont mentionnées dans les fiches descriptives des familles rassemblées dans le Catalogue.

2.4 Les prévisions de production des déchets radioactifs

2.4.1. [Les principes généraux]

Des prévisions de production de déchets radioactifs ont été effectuées pour 2010 et pour 2020.

Elles se fondent sur des scénarios et des hypothèses spécifiques à chaque secteur industriel. Par exemple, les natures et les volumes de déchets radioactifs produits par l'industrie électronucléaire ne peuvent se prévoir sans hypothèses préalables sur la consommation électrique future, l'avenir des centrales nucléaires, la politique de traitement des combustibles usés, etc. Il s'agit autant de définir des scénarios de production à l'échelle du secteur dans son



ensemble, que de définir des hypothèses détaillées sur les modes de conditionnement.

Le présupposé d'une continuité des activités industrielles actuelles, sans rupture majeure, sous-tend la définition de ces scénarios et hypothèses. Néanmoins, ils tiennent compte des évolutions éventuelles prévues par les industriels (modification des procédés mis en œuvre pour le conditionnement des déchets, par exemple).

Les principales caractéristiques des scénarios sont expliquées dans le texte afin que le lecteur soit informé en toute transparence des choix qui ont été faits par le Comité de pilotage.

2.4.2. [Pourquoi 2010 et 2020 ? Et au-delà ?]

Le rapport sur la méthodologie de l'Inventaire des déchets radioactifs recommande de « *quantifier les déchets à produire par les installations existantes* », notamment celles de l'industrie électronucléaire, c'est-à-dire d'estimer ce qui est engagé par les choix du passé, en termes de déchets d'exploitation, de reprise de déchets anciens et de déchets de démantèlement.

Dans ce cadre, **l'horizon 2020 s'impose comme crucial** puisqu'il correspond à une échéance possible pour l'arrêt des premières centrales du parc actuel. En effet, leur mise en service industrielle s'est réalisée globalement entre 1977 et 2000 et, pour l'essentiel, entre 1980 et 1990. La durée d'exploitation de ces installations, initialement estimée à 30 années, a été revue à la hausse par EDF grâce à son programme de recherche et développement. Sous réserve de l'accord de l'Autorité de sûreté nucléaire, elle pourrait atteindre 40 ans pour la moyenne des centrales, voire davantage.

Pour les besoins de l'Inventaire, il a donc été choisi de **réaliser les évaluations des déchets produits au cours du cycle du combustible nucléaire jusqu'en 2020**, avec une « photographie » intermédiaire en 2010. 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.

Sur un autre plan, l'échéance 2020 correspond à un avancement important des opérations de reprise et de conditionnement des déchets anciens, en cours ou planifiées.

Dans un souci d'homogénéité, cette date de 2020 a été choisie 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.

Et au-delà de 2020 ? L'édition précédente de l'Inventaire national fournissait une estimation des déchets de démantèlement des installations existantes produits après cette date, en fonction des déclarations des producteurs. Cette estimation est présentée à nouveau, actualisée. La nouvelle édition de l'Inventaire a voulu pousser plus loin l'exercice, en évaluant également la quantité de déchets produits par les installations actuelles dans le cadre de leur exploitation courante, au-delà de 2020 et jusqu'à leur fin de vie. Comme on l'a dit, 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 sous deux types d'hypothèses : une première consistant à envisager l'arrêt du nucléaire 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.

En conséquence, l'estimation de l'ensemble du volume de déchets engagé par les installations actuelles comporte les éléments suivants, présentés dans la suite de l'Inventaire :

- le volume des déchets produits jusqu'en 2020 (exploitation, reprise et conditionnement des déchets anciens, démantèlements effectués avant cette date)
- une estimation du volume de déchets d'exploitation produits après 2020 et jusqu'à la fin de vie du parc, sous deux scénarios contrastés
- enfin, une estimation prospective des déchets de démantèlement au-delà de 2020.



2.5

Le recensement des matières valorisables

L'Inventaire national, en conformité avec les conclusions du rapport sur sa méthodologie, a choisi de ne pas se limiter au recensement des seuls déchets. Le rapport réalise donc un recensement complémentaire de certaines substances radioactives qui ne sont pas considérées, à ce jour, comme des déchets. Cette approche répond aux objectifs de prudence et d'exhaustivité accrue de l'Inventaire. En effet, certaines de ces substances pourraient à terme relever de la catégorie 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.

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 ce que l'on appelle 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, destinés à donner une idée des masses en jeu, 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.

2.6

Cette méthodologie rend-elle l'Inventaire exhaustif ?

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, au fur et à mesure que les producteurs eux-mêmes progressaient dans leurs connaissances. 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 natures des déchets décrits sur les sites répertoriés (d'où l'importance de la qualité de la libre déclaration des producteurs).

Au fil des éditions, certaines installations ne sont plus recensées (sites démantelés et assainis). A contrario de nouvelles installations, mises en service et productrices de déchets, apparaissent. Depuis une dizaine d'années, l'Inventaire a notablement progressé sur la prise en compte des déchets de la Défense et une meilleure systématisation du recensement des installations du cycle de combustible et des installations de recherche.

Après dix années de recensements régulièrement actualisés, en utilisant un grand nombre de sources disponibles, y compris en faisant appel aux associations de protection de l'environnement, on constate une stabilisation du nombre d'installations recensées. En ce qui concerne les détenteurs de quantités significatives de déchets, aucun producteur nouveau n'était apparu dans l'édition 2004 et un seul a été répertorié dans cette édition.

Certaines spécificités des domaines mentionnés au paragraphe 2.2.2 (hospitaliers, industries non nucléaires...) ne permettent pas de garantir la complétude de leur recensement, à la fois en termes de localisation et de présence effective de déchets sur les sites répertoriés.

2.7

Les outils de vérification de l'Inventaire

Comme l'expose le paragraphe 2.1, l'Inventaire repose sur la libre déclaration des producteurs de déchets. Ces derniers envoient à l'Andra l'état de leurs stocks et lui communiquent les hypothèses principales permettant des synthèses prospectives des quantités de déchets à horizon 2010, en 2020 et au-delà.

Des procédures strictes de recueil, de vérification et de publication des données permettent de garantir au public un Inventaire de qualité, rigoureux et fiable.

2.7.1. [La vérification des données de stocks à fin 2004]

L'Andra a adressé à chaque détenteur une fiche de déclaration (cf. paragraphe 2.2) en vue d'obtenir des informations sur l'état des déchets au 31 décembre 2004,



de les répartir en familles de colis, et de convertir les volumes de déchets bruts en volumes conditionnés.

- **Les déclarations sont remplies en fonction de la typologie du producteur**

- > **pour les grands industriels du nucléaire (EDF, COGEMA, CEA)**, organismes qui gèrent plusieurs sites.

Chaque site dispose de correspondants, qui connaissent bien l'état des stocks, et remplissent les déclarations. Elles sont ensuite vérifiées et regroupées au niveau de chaque organisme, avant leur transmission à l'Andra. 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**

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 et les sollicite chaque année. La relation de confiance qui s'est ainsi instaurée permet d'établir les déclarations les plus justes possibles. Elles sont systématiquement comparées à celles des années précédentes

- > **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 conservent la traçabilité des déchets reçus et font 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 recueilli par l'Andra**

Le recueil de l'ensemble des données donne lieu à un certain nombre de vérifications par les ingénieurs en charge de cette activité (comparaison avec la déclaration de l'année passée, contrôle de cohérence, recoupements avec d'éventuelles autres sources). L'Andra est certifiée par un auditeur externe

conformément à la norme ISO 9001 (dans sa version 2000), qui est le standard international dans le domaine de la qualité

- **Les données sont soumises au Comité de pilotage de l'Inventaire (cf. paragraphe 2.1.2)**

Il contrôle la cohérence d'ensemble des volumes annoncés

- **Les fiches sont validées avant l'édition définitive**

Les fiches de recensement géographique et les fiches décrivant les familles de déchets font l'objet d'échanges nourris entre les ingénieurs de l'Andra et les producteurs de déchets, et le cas échéant avec les autorités administratives compétentes, de manière à aboutir à une déclaration précise et la plus complète possible

- **Les limites des procédures de vérification**

Même si toutes les mesures sont prises pour que le rapport reflète de manière la plus précise possible l'état des connaissances sur les déchets radioactifs, un certain nombre de limites subsistent :

- > un producteur peut oublier un déchet au moment de remplir la déclaration. Comme les producteurs les plus importants déclarent également leurs stocks de déchets à l'Autorité de sûreté, 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 effectue régulièrement des vérifications des déclarations qui lui sont faites sur site.

Dans le cas de COGEMA, les stocks de déchets sont également audités par un organisme mandaté par ses clients

- > il existe forcément des détenteurs potentiels de déchets radioactifs qui ne se sont jamais adressés à l'Andra, ou des sites pollués par la radioactivité non encore répertoriés. Plusieurs campagnes de collecte d'objets radioactifs ont déjà été menées par l'Andra, l'IRSN et les Pouvoirs publics. Des enquêtes historiques sont conduites pour identifier les sites potentiellement contaminés par la radioactivité et oubliés au cours du temps

- > 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 tente cependant d'être le plus complet possible.



2.7.2. [La vérification des scénarios et hypothèses]

Dans la mesure où elles concernent le futur, les prévisions et les hypothèses qui figurent dans l'Inventaire (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 par les spécialistes pour les prévisions sont exposés dans ce rapport sous une forme simplifiée afin d'en permettre la lecture par des non spécialistes
- toutes ces hypothèses ont été soumises au préalable au Comité de pilotage de l'Inventaire national
- La comparaison des stocks de déchets à fin 2004 à ceux à fin 2002, présentée dans l'édition 2004 de l'Inventaire national, montre également la cohérence globale de ces prévisions et hypothèses.

2.7.3. [Les autres types d'informations]

L'Inventaire comporte également des données à caractère descriptif sur les colis de déchets, notamment dans le Catalogue rassemblant les fiches familles (volumes, radioactivité, composition chimique, etc.). 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.

3



Résultats généraux



L'Inventaire révèle une répartition géographique concentrée des déchets radioactifs, et une typologie plutôt restreinte de ces déchets. En effet, les producteurs actuels et leurs installations représentent 899 sites répertoriés. Plus de 90 % de la radioactivité liée aux déchets nationaux est toutefois localisée sur les deux sites de La Hague et Marcoule. Même si les déchets radioactifs offrent des caractéristiques physiques, chimiques et radioactives, variées, leur diversité reste limitée.

Des régimes administratifs précis (installations nucléaires de base, installations classées pour la protection de l'environnement) régissent la plupart des installations des producteurs-détenteurs. Les « petits producteurs », malgré leur multiplicité, ne représentent qu'une fraction réduite de la radioactivité présente en France.

Le détail de ces sites est fourni dans la synthèse par région de l'Inventaire géographique, disponible séparément. Une description succincte des sites les plus notables, ainsi qu'une carte exposant pour chaque activité la répartition, région par région, des sites, est fournie au chapitre 4.

La suite de ce chapitre offre une vision globale quantitative de la production, passée et à venir, des déchets radioactifs, au 31 décembre 2004, en 2010 et en 2020. Elle introduit une comptabilisation des déchets à ces différentes dates, par secteurs de l'économie qui en sont à l'origine, ainsi que par propriétaire pour le stock existant à fin 2004. On y présente également les principaux résultats du recensement des matières valorisables.

Les stocks répertoriés au 31 décembre 2004 incluent 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 électronucléaires. 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 inclure ces déchets dans les états de synthèse est le « volume équivalent conditionné », c'est-à-dire le volume du futur colis après l'ensemble des étapes de conditionnement. Cela permet d'utiliser une unité de compte homogène pour l'ensemble des déchets.

Le volet prospectif de l'Inventaire se fonde sur les scénarios et les hypothèses développés dans le chapitre 4. Ces prévisions adoptent, elles aussi, le « volume équivalent conditionné » comme unité.

La synthèse proposée dans ce chapitre concerne les déchets radioactifs gérés dans des filières spécialisées. Les tableaux et graphes détaillés dans ce chapitre incluent donc :

- les déchets radioactifs relevant du secteur de la *Production électronucléaire* (industrie nucléaire, centrales nucléaires, traitement du combustible)
- les déchets radioactifs relevant de la *Recherche* (Centres CEA, établissements de recherche en physique nucléaire). Les volumes attribués à ce secteur proviennent majoritairement de la recherche pour l'électronucléaire, accomplie par le CEA
- les déchets radioactifs relevant du *secteur Médical* (recherche dans le domaine médical, pharmaceutique et applications thérapeutiques de la radioactivité)

[Tableau 3.1] Nombre de sites identifiés par l'Inventaire, par activité

AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	25
CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	21
AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	3
ETABLISSEMENTS DE TRAITEMENT DES DÉCHETS OU DE MAINTENANCE	5
CENTRES D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE DU CEA CIVIL	7
ETABLISSEMENTS DE RECHERCHE (HORS CEA)	368
ACTIVITÉS MÉDICALES	278
ACTIVITÉS INDUSTRIELLES DIVERSES	27
INDUSTRIE NON NUCLÉAIRE UTILISANT DES MATÉRIEAUX NATURELLEMENT RADIOACTIFS	13
CENTRES D'ÉTUDES, DE PRODUCTION ET D'EXPÉRIMENTATION DE LA FORCE DE DISSUASION	10
ETABLISSEMENTS DE LA DÉFENSE	116
ENTREPOSAGES ET STOCKAGES	26



- les déchets radioactifs résultant du secteur de la *Défense nationale* (Centres CEA/DAM (Direction des Applications Militaires) travaillant pour la force de dissuasion, établissements travaillant pour la Défense nationale)
- les déchets radioactifs relevant de l'*Industrie non électro-nucléaire*.

Ils n'englobent pas :

- les résidus de *traitement de minerais d'uranium* (voir sous-chapitre 4.1)
- les *déchets stockés dans les décharges ou utilisés en tant que remblais* (voir sous-chapitre 4.12)
- les déchets stockés dans la butte de Pierrelatte (voir sous-chapitre 4.10)
- les substances radioactives se trouvant sur des *sites ayant accueilli des activités manipulant la radioactivité* et pour lesquels il n'est pas prévu d'assainissement. 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. S'ils décident que le site ne requiert pas un assainissement, il n'y a pas de déchets induits et l'Inventaire ne les comptabilise donc pas. En revanche, il tient compte des déchets provenant de sites assainis ou devant l'être à court ou moyen terme et mentionne ces sites (voir chapitre 5)

- les *déchets immergés en Atlantique* en 1967 et en 1969 (voir sous-chapitre 4.12)
- les *déchets à vie très courte*, d'une période inférieure à 100 jours, gérés en décroissance par les hôpitaux avant élimination dans des filières classiques. Ils ne sont donc pas envoyés dans un stockage dédié de déchets radioactifs (voir sous-chapitre 4.7).

Ces exclusions concernent l'ensemble des états de synthèse présentés dans ce chapitre. Elles ne seront plus mentionnées par la suite.

3.1

Stocks des déchets radioactifs répertoriés au 31 décembre 2004

Le volume de déchets radioactifs recensés depuis le début de leur production jusqu'au 31 décembre 2004 est de 1 033 000 m³ environ (volume équivalent conditionné), toutes catégories et toutes provenances confondues. A cette même

date, 69 % d'entre eux, soit un volume de 711 700 m³ environ, bénéficient d'un stockage définitif.

3.1.1. [Répartition par catégorie]

Les volumes de déchets français existants au 31 décembre 2004 sont exposés dans le tableau 3.2 et représentés sur le graphique 3.1.

[Tableau 3.2] Volumes de déchets radioactifs à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

	VOLUME
HA	1 851
MA-VL	45 518
FA-VL	47 124
FMA-VC	793 726 (dont 695 048 stockés)
TFA	144 498 (dont 16 644 stockés)
Sans catégorie	589
TOTAL	1 033 306 (dont 711 692 stockés)

Les déchets identifiés comme « sans catégorie » sont ceux que leur propriétaire déclare à l'Inventaire sans les attribuer à une des catégories HA, MA-VL, FA-VL, FMA-VC ou TFA. Il s'agit de déchets se présentant sous une forme chimique ou physique qui ne permet pas de les associer à une filière de gestion existante ou en projet, et pour lesquels 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 :

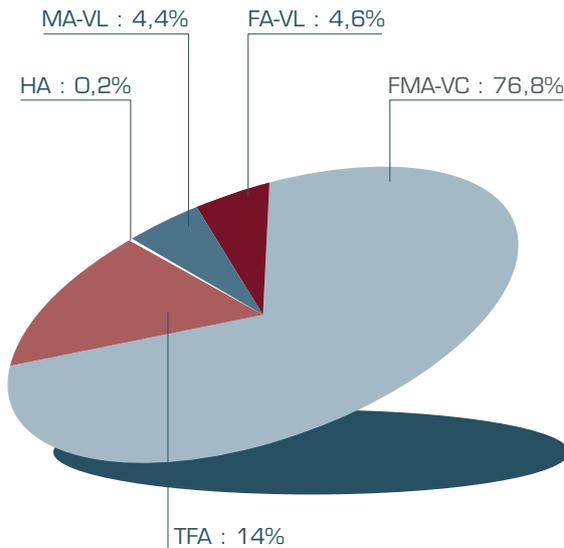
- pour plus de la moitié (332 m³), de boues (« fluorines ») issues d'opérations chimiques sur l'uranium de traitement, lors des opérations destinées à recycler ce dernier dans les combustibles (voir sous-chapitre 4.3). Ces boues se trouvent sur le site de l'usine de COMI-HUREX à Pierrelatte (26). Les fluorines issues de l'uranium naturel sont admissibles dans

des décharges de classe 1 comme celle de Solérieux. Celles issues de l'uranium de traitement comportent des traces de produits de fission qui empêchent d'utiliser cette filière de gestion. Le niveau d'activité les apparente à des TFA

- des effluents liquides ou des boues dont la composition chimique empêche le traitement (7 m³)
- des solvants, des effluents organiques et des huiles contaminées, pour 10 m³
- des déchets dits mixtes, mêlant toxiques chimiques et contamination radioactive pour 233 m³ (acide borique, amiante, résines échangeuses d'ions, peintures tritées).
- des filtres au charbon actif contaminés (7 m³).

Le niveau d'activité est en général faible ou très faible. Ces déchets ne sont plus présentés dans les bilans ultérieurs, puisque l'absence de traitement connu ne permet pas de les comptabiliser en « volume conditionné ».

[Graphique 3.1] Répartition en volume des déchets radioactifs produits jusqu'à fin 2004, par catégorie



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 la comptabilisation sont celles du producteur, y compris si elles nécessitent encore d'être validées par l'Autorité de sûreté nucléaire ou acceptées par l'Andra
- 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 2004. Pour cette raison, les déchets graphites FA-VL (cf. sous-chapitre 4.2) qui sont encore dans les réacteurs (empilements, réflecteurs en place, aires de support), ne sont pas comptabilisés dans les stocks à fin 2004, mais sont pris en compte au fur et à mesure de leur production
- Quand les études de filière d'une famille particulière de déchets sont encore en cours, et qu'il y a une incertitude sur la catégorie dans laquelle ils se rangeront à terme, ils sont classés selon l'hypothèse retenue par le producteur.

On peut citer par exemple le cas des fûts d'enrobés bitumineux anciens (produits avant 1995) de Marcoule.

Selon l'estimation de leur activité radiologique, ils se répartissent à raison de 34 456 fûts FMA-VC, soit environ 42 200 m³ une fois conditionnés en conteneurs béton, et 26 131 fûts MA-VL, soit environ 10 100 m³ conditionnés en surfûts. AREVA (COGEMA) a soumis un dossier à l'Andra pour l'acceptation d'une partie de ces déchets au Centre de stockage FMA de l'Aube. Ce dossier est en cours d'instruction par l'Andra, la répartition est donc susceptible d'être modifiée à l'avenir

- Pour les déchets présents sur le site de La Hague qui sont destinés pour une part à un retour vers les clients étrangers, seule la part française des déchets est prise en compte. L'état complet du stock de déchets de l'usine de La Hague, y compris les déchets étrangers, est présenté dans le sous-chapitre 4.3.

La question de la propriété de ces déchets, et la manière dont AREVA (COGEMA) gère leur attribution est décrite dans l'annexe 1.

On note quelques évolutions par rapport à l'Inventaire publié en 2004. Celles-ci s'expliquent bien entendu d'abord par le fonctionnement des installations au cours des années 2003 et 2004, qui ajoute aux stocks de déchets déjà existants les quantités produites pendant ces années. D'autres raisons peuvent cependant expliquer des variations dans les chiffres :

- les producteurs de déchets, et notamment le CEA, ont procédé dans les dernières années à une étude plus poussée des filières envisageables, en fonction du contenu radiologique des colis. Cela a pu les conduire notamment à considérer comme FMA-VC des déchets autrefois classés par défaut dans la catégorie MA-VL. Ces cas de figure sont cependant marginaux. Le changement de catégorie des déchets correspondants devra recevoir l'accord de l'Andra avant d'être effectif. En accord avec la méthodologie de l'Inventaire national, qui retient les hypothèses du producteur, il est cependant pris en compte dans les bilans
- les progrès accomplis au cours des deux dernières années par l'Andra et EDF dans la définition d'une solution de gestion pour les déchets de graphite ont permis de préciser les hypothèses de conditionnement, et notamment les dimensions du colis en béton qui les accueilleraient à terme dans un éventuel futur stockage. La quantité de déchets de graphite en elle-même n'a pas évolué (ces déchets existent et ne sont plus produits aujourd'hui), mais l'hypothèse de conditionnement a été modifiée. Elle est passée de 2,34 à 3 m³ de colis par tonne de déchet. On rappelle que les déchets sont présentés en volume conditionné



- le premier retour d'expérience du fonctionnement du Centre de stockage des déchets TFA de l'Andra a permis de mieux cerner quels sont les déchets que ce Centre est potentiellement capable d'accepter. Cela conduit les producteurs à classer comme TFA des déchets qu'ils considéraient en 2004 comme FMA-VC. Ce changement de catégorie devra recevoir au cas par cas l'accord de l'Andra ; il a été pris en compte selon la déclaration des producteurs à ce stade
- environ 19 000 tonnes de « matière en suspension » (MES), classées en 2004 dans la catégorie FA-VL, sont considérées à présent comme matières valorisables (voir paragraphe 4.9.3) par Rhodia qui en est propriétaire
- environ 2500 tonnes de déchets de l'industrie non électronucléaire classés en TFA en 2004 sont désormais considérés comme non radioactifs par Cezus (groupe AREVA).

3.1.2. [Répartition par secteur économique et par propriétaire à fin 2004]

La répartition des déchets radioactifs par secteur économique est exposée dans le tableau 3.3 et représentée sur le graphique 3.2.

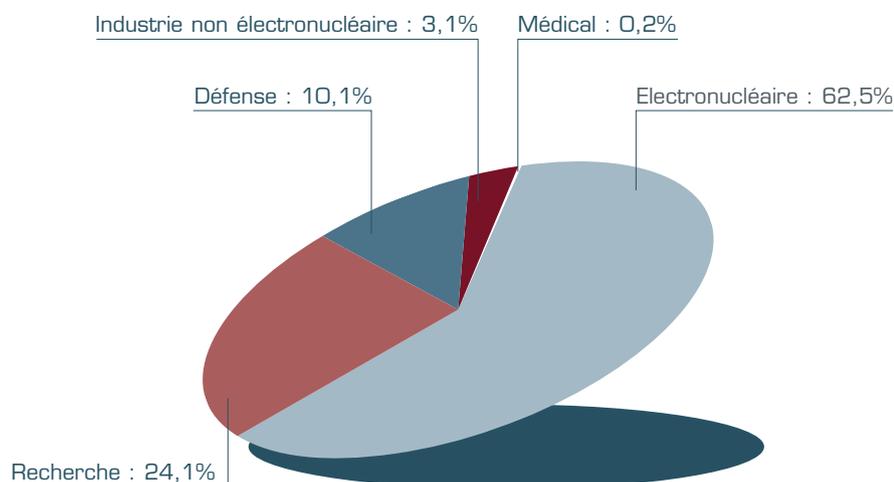
[Tableau 3.3] Volumes de déchets radioactifs à fin 2004 par secteur économique, en m³ équivalent conditionné

	Electronucléaire	Recherche	Défense**	Industries non électronucléaire	Médical	Total
HA	1 462	150	239	0	0	1 851
MA-VL	27 766	11 710	5 917	125	0	45 518
FA-VL	10 780	19 808	625	15 891	20	47 124
FMA-VC	550 350	160 731	66 519	14 276	1850	793 726
TFA*	55 656	56 396	30 505	1 941	0	144 498
TOTAL	646 014	248 795	103 805	32 233	1870	1 032 717

* Lorsque les producteurs déclarent leurs déchets TFA en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

** Le secteur économique Défense regroupe les déchets relevant du CEA/DAM et ceux issus des activités liées à la défense nationale (DGA, SSA, Armées Terre/Air/Mer, gendarmeries).

[Graphique 3.2] Répartition des volumes par secteur économique à fin 2004





On notera que le secteur économique « Médical » a été ajouté par rapport à l'édition 2004 de l'Inventaire national.

Pour certaines catégories de déchets, les évolutions observées dans la répartition par secteur économique, par rapport à l'Inventaire 2004, sont d'une part dues à l'évolution des volumes (paragraphe 3.1.1), d'autre part la conséquence d'une évaluation plus fine de la répartition des déchets par propriétaire.

Cette répartition par propriétaire résulte d'études spécifiques, conduites pour le présent Inventaire à la demande de son comité de pilotage.

Les évaluations des parts de chaque propriétaire ont été déclarées directement par ceux-ci pour les déchets HA et MA-VL.

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

- aux hypothèses de classification des déchets qui sont susceptibles d'évoluer
- à l'attribution fine de chaque famille de déchets, dans le cadre des accords contractuels entre producteurs
- aux hypothèses de conditionnement des déchets anciens, lequel reste pour une part significative à réaliser.

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.

Pour les catégories de déchets autres que HA et MA-VL, la répartition par propriétaire résulte des évaluations faites par l'Andra sur la base d'informations données par les producteurs ; ces évaluations sont également l'objet d'incertitudes de l'ordre de quelques pourcents, liées aux méthodes d'évaluation.

Pour chaque catégorie de déchets, la répartition par propriétaire est donnée ci-dessous. Les principaux propriétaires de déchets sont : EDF, AREVA, le CEA civil et le CEA/DAM (Direction des Applications Militaires). Pour les déchets radifères, l'industriel Rhodia est également un propriétaire important.

• Pour les déchets HA et MA-VL (graphiques 3.3 et 3.4)

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 (COGEMA) 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).

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

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

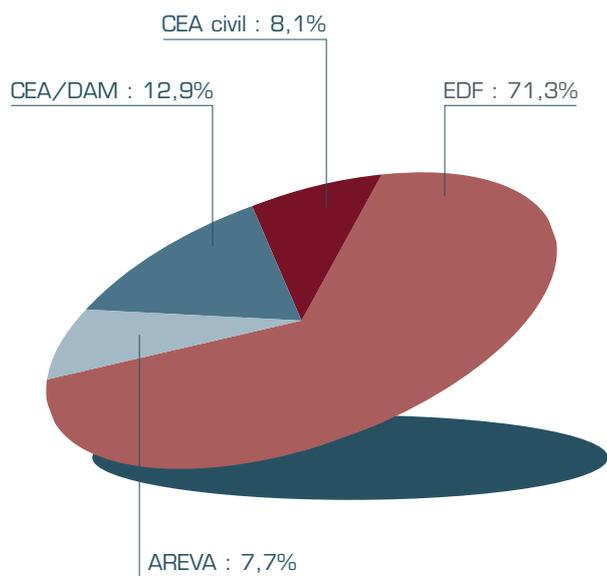
• Pour les déchets FA-VL (graphiques 3.5 et 3.6)

Les répartitions par propriétaire des déchets de graphite et des déchets radifères sont présentées séparément.

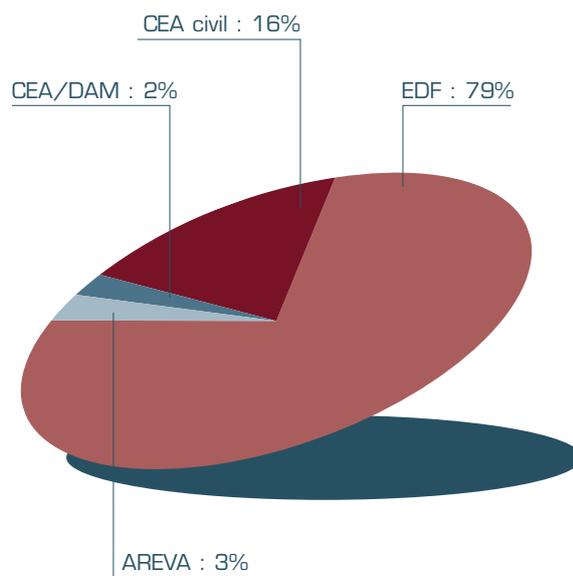
Comme indiqué au paragraphe 3.1.1, les déchets de graphite (cf. sous-chapitre 4.2) qui sont encore dans les réacteurs (empilements, réflecteurs en place, aires de support), ne sont pas comptabilisés dans les stocks à fin 2004, mais sont pris en compte à fin 2020. Les répartitions présentées ci-dessous 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).



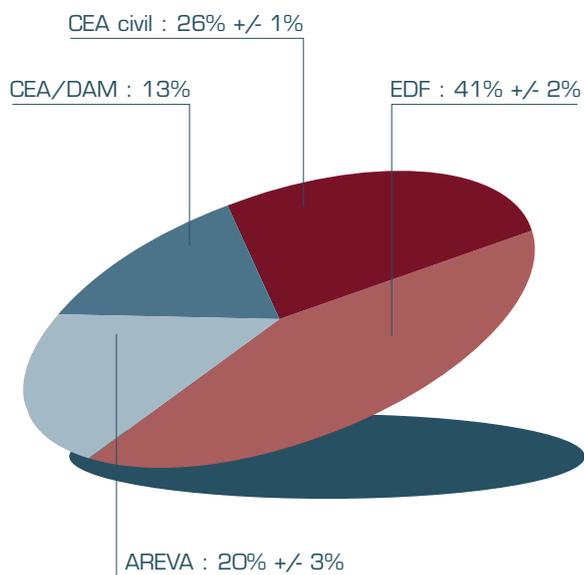
[Graphique 3.3] Répartition en volume des déchets HA par propriétaire à fin 2004



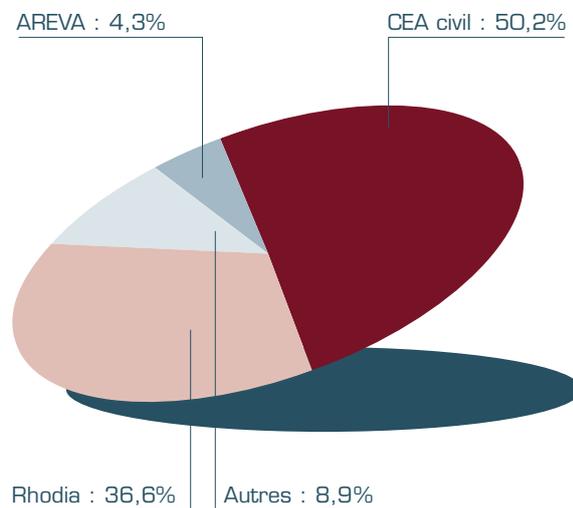
[Graphique 3.5] Répartition en volume des déchets graphites par propriétaire à fin 2004



[Graphique 3.4] Répartition en volume des déchets MA-VL par propriétaire à fin 2004



[Graphique 3.6] Répartition en volume des déchets radifères par propriétaire à fin 2004





• 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.

3.1.3. [Contenu radiologique des déchets radioactifs existants]

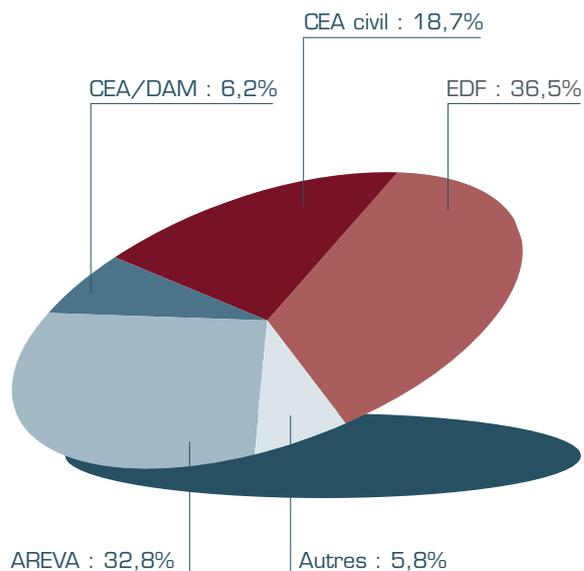
A/ Inventaire

L'inventaire de la radioactivité contenue dans les déchets s'effectue à partir des données relatives à chaque famille de déchets - nombre de colis et radioactivité moyenne par colis (cf. Catalogue descriptif des familles de déchets). Un calcul succinct de la décroissance de la radioactivité en fonction de la période des radionucléides présents, jusqu'en 2004 puis jusqu'en 2020, 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.

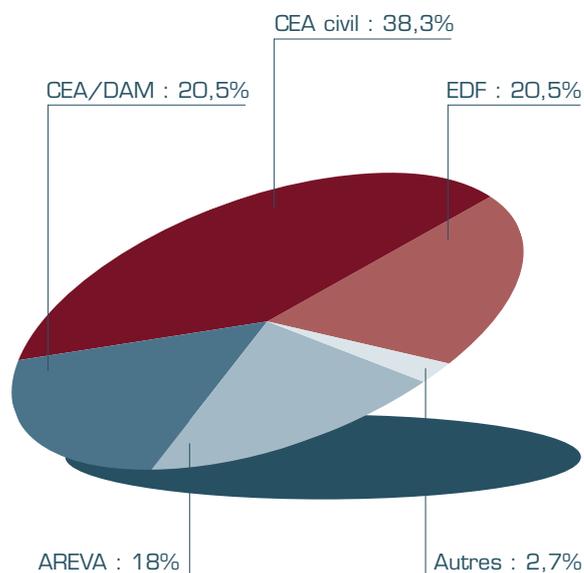
La méthode employée varie selon la catégorie des déchets :

- **FMA-VC** : les producteurs déclarent chaque colis à l'Andra suivant une méthode stricte fondée sur des mesures et des évaluations par calcul. Après un contrôle de conformité, l'Andra autorise leur stockage au Centre FMA de l'Aube. La radioactivité de cette catégorie de déchets s'évalue à partir de ces déclarations, conservées depuis la mise en service du Centre
- **MA-VL et HA** : les producteurs réalisent des dossiers techniques à leur propos dans le cadre des travaux de recherche sur la gestion de ces déchets. Ceux-ci sont examinés et vérifiés par l'Andra. L'estimation de la radioactivité des déchets anciens est moins précise et sera affinée lors de leur reprise
- **FA-VL** (de type graphites ou de type radifères) : la détermination de la radioactivité repose sur des résultats d'analyses pratiquées sur échantillons et, le cas échéant,

[Graphique 3.7] Répartition en volume des déchets FMA-VC par propriétaire à fin 2004



[Graphique 3.8] Répartition en volume des déchets TFA par propriétaire à fin 2004





sur des évaluations complémentaires déclarées par les producteurs à l'Andra. Les connaissances actuelles en matière de radioactivité devraient s'affiner dans le futur.

La radioactivité de l'ensemble des déchets produits au 31 décembre 2004 est présentée dans le tableau ci-dessous.

[Tableau 3.4] Radioactivité de l'ensemble des déchets produits au 31 décembre 2004 (valeur en TBq, soit 10^{12} Bq)

	ALPHA	BETA-GAMMA A VIE COURTE	BETA-GAMMA A VIE LONGUE
HA	1 530 000	64 200 000	217 000
MA-VL	13 400	5 600 000	308 000
FA-VL	12	8 000	1 300
FMA-VC	980	33 000	5 900
TFA	0,5	1,6	0,06

- **Les déchets HA** rassemblent 91,68 % de la radioactivité totale des déchets radioactifs produits jusqu'au 31 décembre 2004. 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 8,22 % de la radioactivité totale.

Les grappes de commande de réacteurs (voir sous-chapitre 4.2) 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 0,013 % de la radioactivité totale.

Les déchets graphites contiennent essentiellement des radionucléides bêta-gamma, principalement le tritium, le cobalt 60 pour les vies courtes, le carbone 14, le nickel 63 et le chlore 36 pour les vies longues. Les déchets radifères contiennent essentiellement des radionucléides d'origine naturelle émetteurs alpha (radium).

- **Les déchets FMA-VC** représentent 0,055 % de la radioactivité totale.

Outre certains déchets anciens tels que les bitumes, 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.

B/ 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 trente ans, demeure.

Les deux courbes suivantes (graphiques 3.9 et 3.10) 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 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 relativement courte.



3

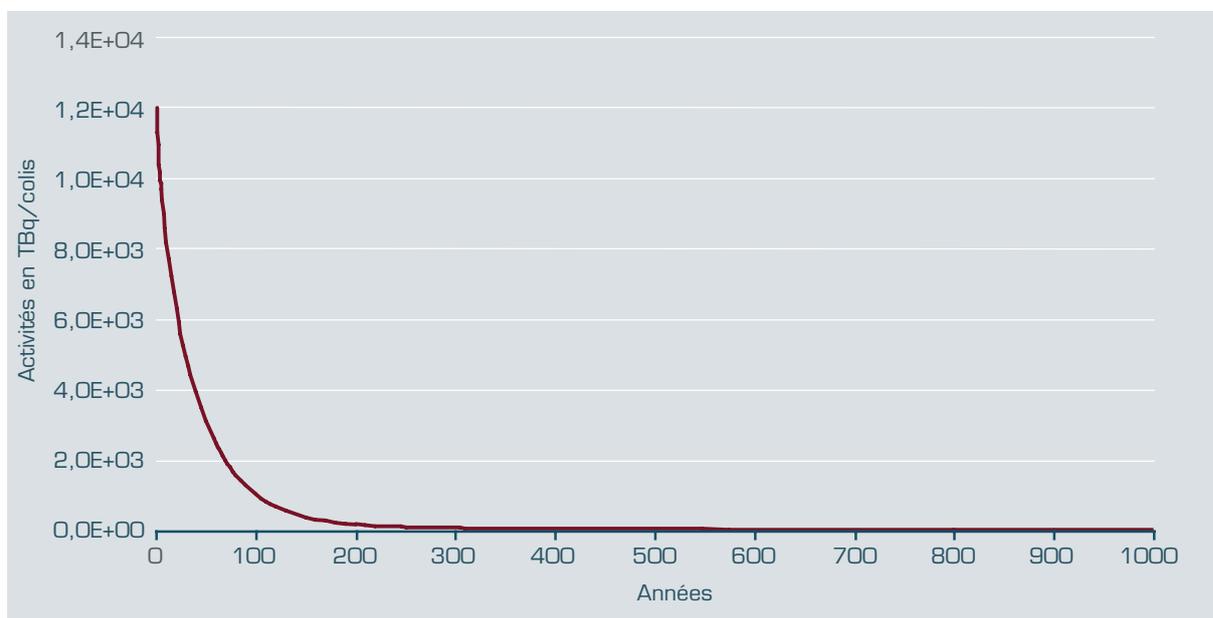
Résultats généraux

L'activité n'est pas nulle au bout de 1 000 ans, elle a simplement décré 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 aient une échelle logarithmique, c'est-à-dire permettant un effet de

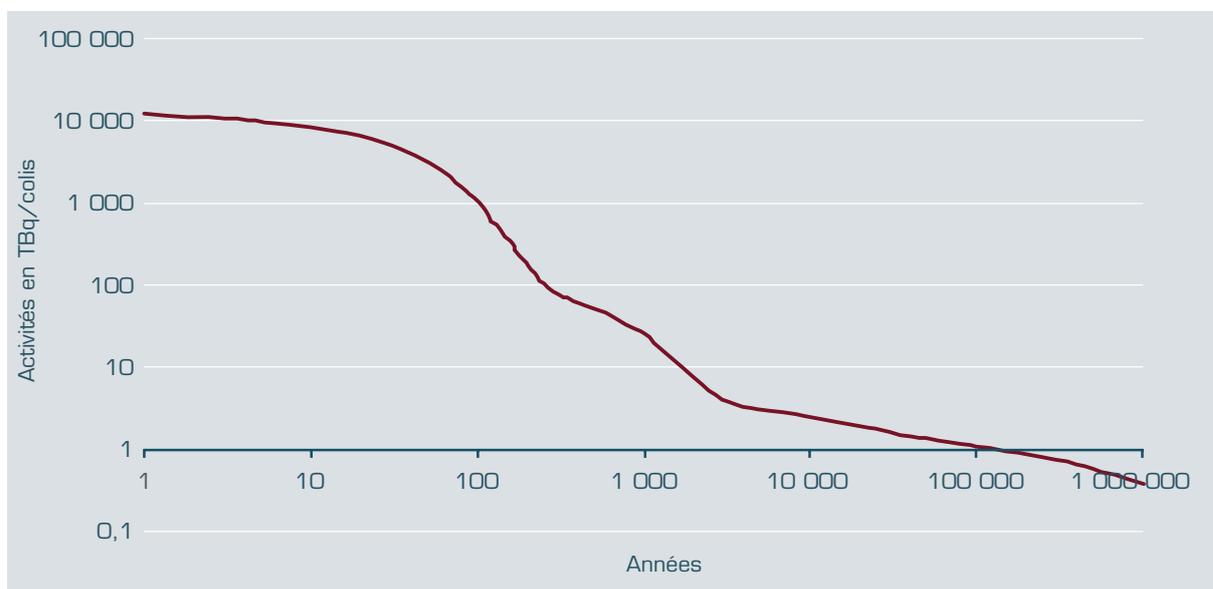
« loupe » sur les temps courts et les activités les moins élevées.

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 peu près un watt après 10 000 ans.

[Graphique 3.9] Evolution de l'activité d'un déchet vitrifié sur les mille premières années



[Graphique 3.10] Evolution de l'activité d'un déchet vitrifié sur un million d'années (échelle logarithmique)

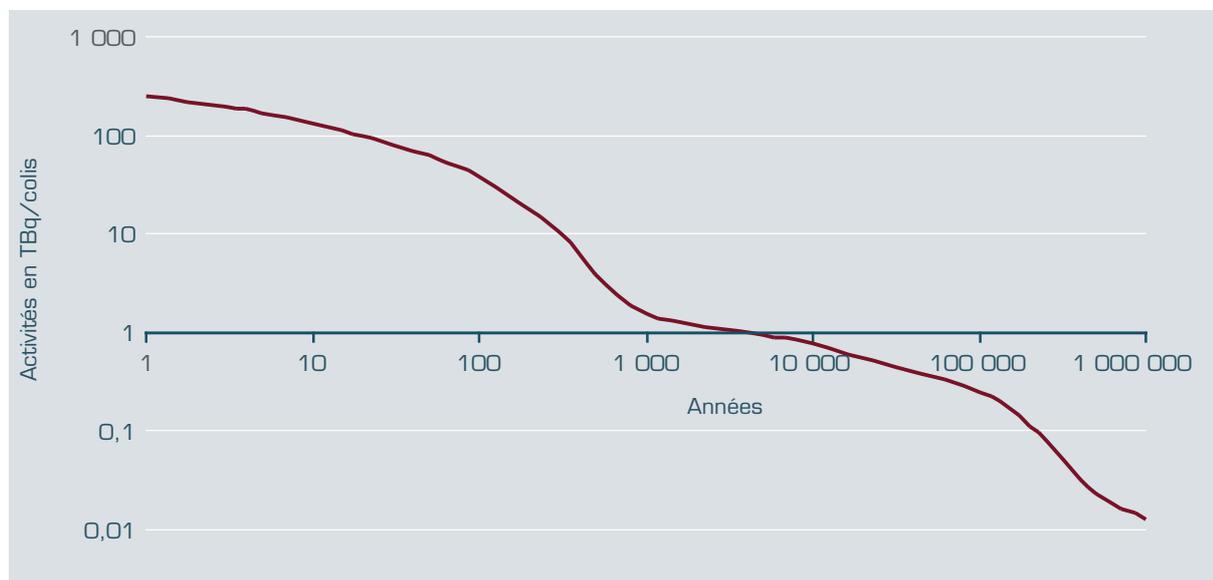




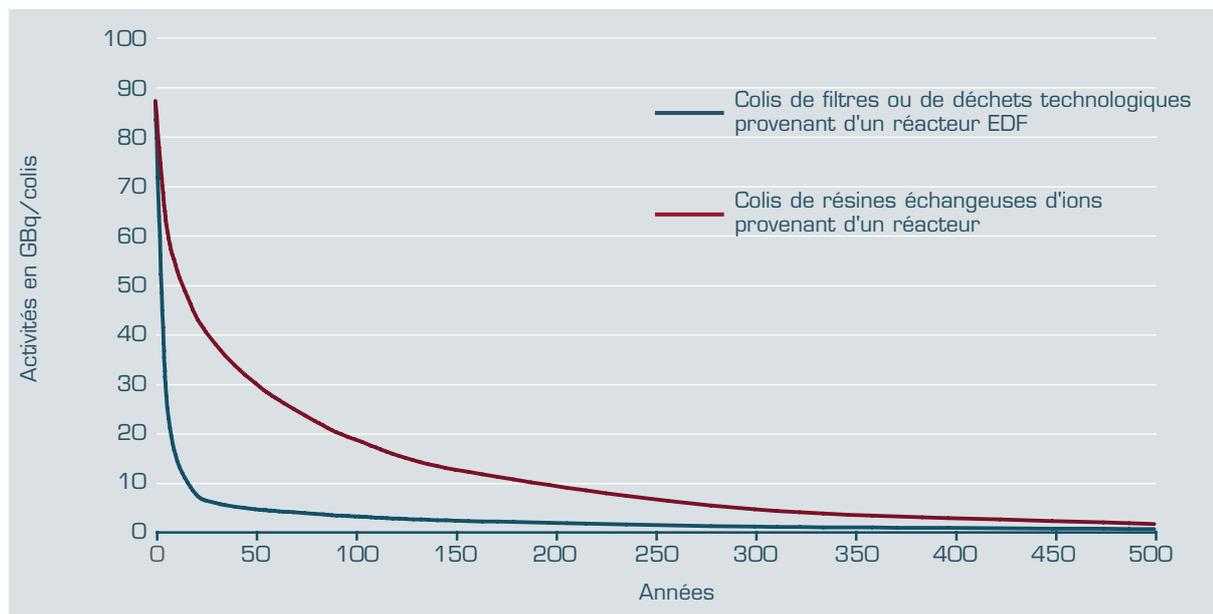
On peut donner d'autres illustrations de la décroissance radioactive des colis. Pour un déchet MA-VL, tel qu'un conteneur de « déchets de structure » compactés, la courbe a la même allure générale que pour le verre, mais, bien entendu, le niveau d'activité initiale est moindre. Pour un tel déchet, la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

Pour un colis de déchets FMA-VC, la décroissance est beaucoup plus rapide. A titre d'exemple, on peut illustrer la décroissance de deux colis représentatifs livrés par EDF au Centre de stockage FMA de l'Aube. 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 trois cents ans dans les deux cas. La puissance thermique de tels colis est négligeable.

[Graphique 3.11] Evolution de l'activité d'un colis moyen de déchets de structures de combustibles usés compactés



[Graphique 3.12] Evolution de l'activité de deux exemples de colis FMA-VC





3.1.4. [Gestion des déchets existants : conditionnement et devenir à long terme]

A/ Conditionnement au 31 décembre 2004

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, terres en silos...) ou qui fait l'objet d'un conditionnement temporaire
- **Déchet pré-conditionné** : déchet qui se trouve dans un conteneur qui sera intégré 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.

On constate qu'une part significative des déchets, un peu plus de 80 %, 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 de COGEMA à La Hague et Marcoule. Elles incluent des solutions des produits de fission issus de combustibles de la filière uranium naturel graphite gaz, qui requièrent un mode de vitrification particulier en cours de développement (verres dits « uranium - molybdène » ou UMo)

• Environ 62 % des déchets MA-VL

En attente de solution de gestion définitive, ces déchets, anciens pour la plupart, sont entreposés dans les installations des industriels producteurs : CEA Cadarache, COGEMA à Marcoule et La Hague. Il sera nécessaire de les reprendre et de les conditionner, en regard des standards de sûreté actuels d'entreposage, ou pour permettre leur gestion à long terme. On notera que la grande majorité de ces déchets est d'ores et déjà entreposée dans des conteneurs et qu'un complément de conditionnement ultérieur est programmé

• une faible part de déchets FMA-VC

Ils sont en attente de traitement ou correspondent à des déchets anciens

• une grande partie des déchets FA-VL

Les déchets radifères sont entreposés en l'état, dans l'attente d'un Centre de stockage dédié, ce qui impliquera éventuellement un traitement et la définition d'un conditionnement adapté.

L'Andra et les producteurs étudient actuellement un mode de conditionnement pour les déchets graphites, sous forme d'un colis en béton.

[Tableau 3.5] En m³ équivalent conditionné

	DECHETS CONDITIONNES VOLUME (m ³)	DECHETS PRECONDITIONNES VOLUME PREVISIONNEL APRES CONDITIONNEMENT (m ³)	DECHETS NON CONDITIONNES VOLUME PREVISIONNEL APRES CONDITIONNEMENT (m ³)	VOLUME TOTAL (m ³)
HA	1 565	0	286	1 851
MA-VL	17 037	11 318	17 163	45 518
FA-VL	7 521	337	39 266	47 124
FMA-VC	705 268	54 170	34 288	793 726

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. Pour certains TFA, il n'y a pas de distinction entre conditionnés et non conditionnés.



B/ Gestion à long terme

Environ 158 000 m³ de déchets radioactifs, soit près de 16 % de la quantité répertoriée au 31 décembre 2004, sont actuellement en entreposage, en attente de solutions techniques pour leur gestion à long terme. Ils impliquent l'étude de filières spécifiques. La loi du 30 décembre 1991 a prévu qu'un programme de recherche de quinze ans apporte des éléments, concernant les déchets HA et MA-VL, pour un débat au Parlement en 2006.

Ces déchets se répartissent comme suit :

- 1 851 m³ de déchets HA, pris en compte dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991
- 45 518 m³ de déchets MA-VL, également pris en compte dans ce même cadre
- 47 124 m³ de déchets FA-VL, qui font l'objet d'un projet conduit par l'Andra
- Environ 64 000 m³ de déchets FMA-VC pour lesquels la prise en charge au Centre de stockage FMA de l'Aube est encore à l'étude et n'a pas fait l'objet d'un agrément par l'Andra ⁽¹⁾.

(1) Il s'agit pour l'essentiel des colis de fûts de bitumes de Marcoule prévus dans cette filière, des déchets tritiés qui ne sont pas acceptés au Centre de stockage FMA de l'Aube, ainsi que d'autres déchets nécessitant une étude préalable avant d'être acceptés, ou non.

3 Résultats généraux

3.2

Prévisions pour la période 2005-2020

Comme indiqué au paragraphe 2.4.1, définir les productions de déchets à venir exige de formuler des hypothèses et des scénarios sur les activités qui en sont à l'origine. Les scénarios retenus pour l'Inventaire national présupposent

généralement une continuité des activités industrielles actuelles, sans rupture majeure. Néanmoins, ils tiennent compte des évolutions éventuelles prévues par les industriels (modification des procédés mis en œuvre pour le conditionnement des déchets, par exemple). Les scénarios sont décrits en détail dans les différents sous-chapitres du chapitre 4. Le tableau 3.6 en donne les principales caractéristiques.

[Tableau 3.6] Les principales hypothèses pour estimer la production à venir de déchets à l'horizon 2020

Centrales de production d'énergie nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte du parc électronucléaire actuel • Durée de vie des centrales de quarante ans • Augmentation progressive des taux de combustion des combustibles • Utilisation de combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) dans les proportions actuelles
Traitement du combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Poursuite de l'exploitation de l'usine de traitement de La Hague • Assainissement des usines arrêtées (UP2-400 à la Hague, UP1 à Marcoule)
Défense	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien d'un programme nucléaire de défense d'un volume similaire • Poursuite du programme de propulsion sous-marine
Recherche et développement	<ul style="list-style-type: none"> • Poursuite des activités de recherche dans le domaine de l'énergie nucléaire avec prolongement des installations actuelles
Médical et usage industriel	<ul style="list-style-type: none"> • Poursuite de l'usage de la radioactivité au niveau actuel

3.2.1. [Quantités prévisionnelles des stocks en 2010 et en 2020, toutes origines confondues]

[Tableau 3.7] Quantités prévisionnelles des stocks de déchets en m³ équivalent conditionné

	VOLUMES EXISTANTS 2004 STOCKES OU ENTREPOSES	VOLUMES PREVISIONNELS 2010 STOCKES OU ENTREPOSES	VOLUMES PREVISIONNELS 2020 STOCKES OU ENTREPOSES
HA	1 851	2 511	3 611
MA-VL	45 518	49 464	54 884
FA-VL	47 124	48 432	104 997
FMA-VC	793 726	928 989	1 193 001
TFA	144 498	300 279	581 144
TOTAL	1 032 717	1 329 675	1 937 637



Le tableau 3.7 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 attendue du taux d'incorporation de produits de fission admissible dans les colis de déchets vitrifiés (voir chapitre 4.3)

• **MA-VL**

Le rythme de production de déchets MA-VL est globalement constant sur la période allant jusqu'à 2020. Les producteurs privilégient désormais des procédés qui concentrent davantage la radioactivité, afin de réduire les volumes des colis, ce qui explique la faible augmentation relative du stock de déchets en 2005-2020. Cette période est en revanche marquée par les opérations de reprise et conditionnement des déchets anciens dont les volumes sont déjà comptabilisés dans les stocks à fin 2004

• **FA-VL**

L'augmentation de leur volume 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 en 2004). Les quelques radifères encore produits proviendront pour l'essentiel de l'assainissement de sites anciens et des industries non nucléaires

• **FMA-VC**

Le flux de production lié à l'exploitation des installations nucléaires est supposé globalement stable sur la période. Il devrait croître sensiblement à partir de 2010 du fait de la mise en œuvre des programmes de démantèlement

• **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.

3.2.2. [Stock des déchets par secteur économique à l'horizon 2020]

Le stock des déchets à l'horizon 2020 est présenté par secteur économique dans le tableau ci-dessous.

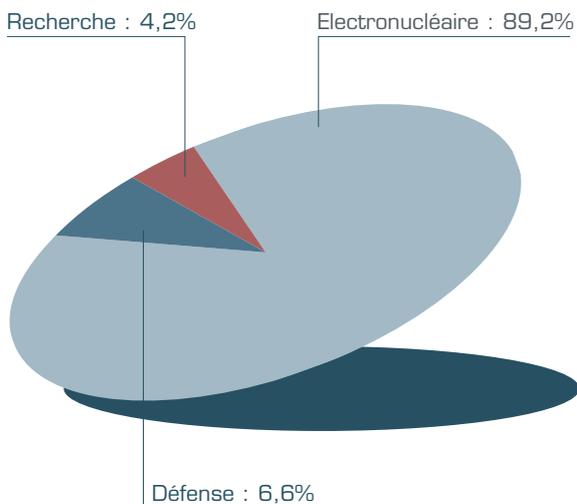
[Tableau 3.8] **Stock des déchets à l'horizon 2020 par secteur économique, en m³ équivalent conditionné**

	Electronucléaire	Recherche	Défense	Industries non électronucléaires	Médical	TOTAL
HA	3 222	150	239	0	0	3 611
MA-VL	34 848	13 586	6 325	125	0	54 884
FA-VL	61 870	23 882	1 550	17 675	20	104 997
FMA-VC	883 015	193 102	99 695	14 282	2907	1 193 001
TFA	339 644	161 913	61 663	17 924	0	581 144
TOTAL	1 322 599	392 633	169 472	50 006	2927	1 937 637



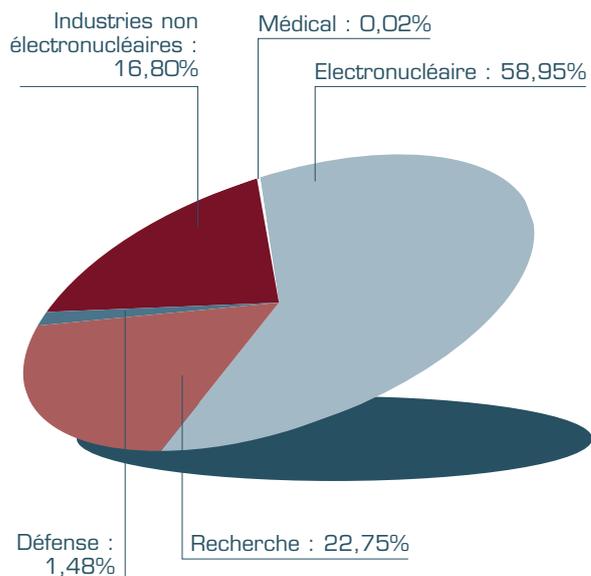
• Pour les déchets HA

[Graphique 3.13] Répartition en volume des déchets HA par secteur économique à fin 2020



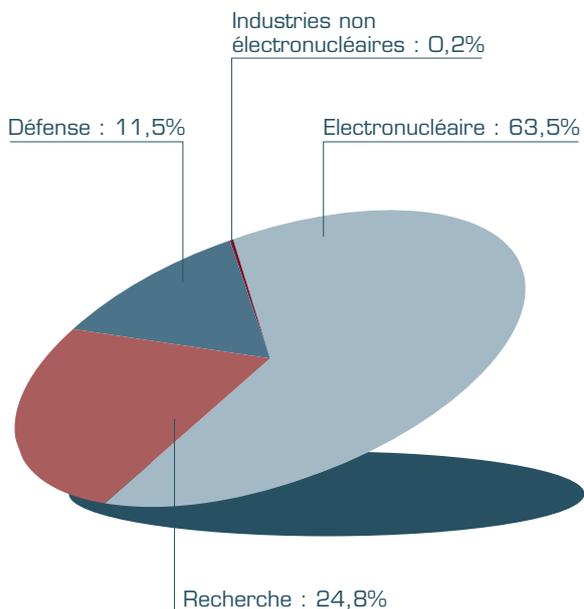
• Pour les déchets FA-VL

[Graphique 3.15] Répartition en volume des déchets FA-VL par secteur économique à fin 2020



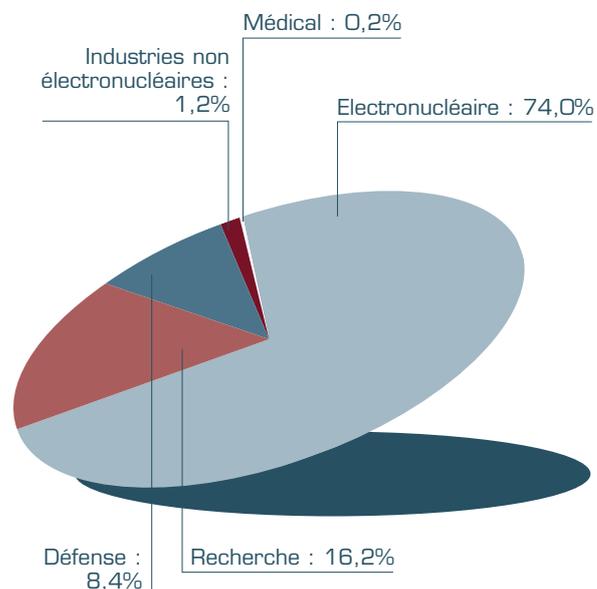
• Pour les déchets MA-VL

[Graphique 3.14] Répartition en volume des déchets MA-VL par secteur économique à fin 2020



• Pour les déchets FMA-VC

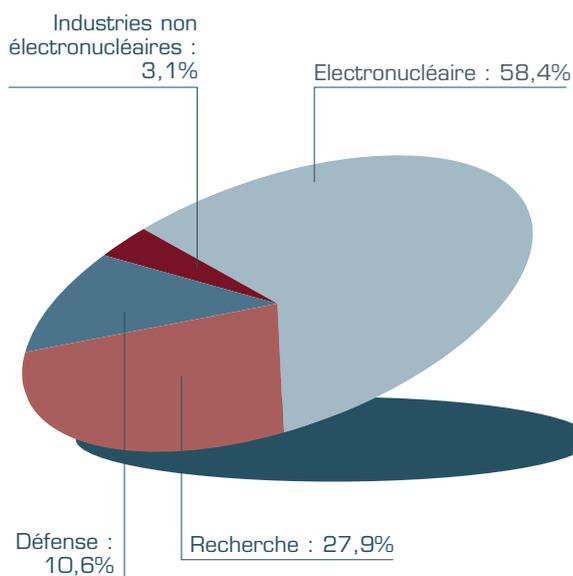
[Graphique 3.16] Répartition en volume des déchets FMA-VC par secteur économique à fin 2020





• Pour les déchets TFA

[Graphique 3.17] Répartition en volume des déchets TFA par secteur économique à fin 2020



3.2.3. [Contenu radiologique]

Le tableau 3.9 donne, en 2020, une estimation totale de la radioactivité des déchets. Ces estimations tiennent compte, sous une forme simplifiée, de la décroissance des déchets existant en 2004 et des nouveaux déchets engendrés sur la période. Les activités sont en TBq (10^{12} Bq).

3.2.4. [Gestion des déchets sur la période 2005-2020]

Une évolution importante en termes de gestion des déchets sur la période 2005-2020 est constituée par les **opérations de reprise et conditionnement de déchets anciens**, qui seront en majorité finalisées en 2020 mais qui se poursuivront pour certaines jusqu'en 2035 (voir sous-chapitres 4.3 et 4.5). D'ici 2020, une bonne part des déchets aujourd'hui non conditionnés pourrait alors être résorbée (tableau 3.10).

[Tableau 3.9] Estimation de la radioactivité à fin 2020

	ALPHA	BETA-GAMMA A VIE COURTE	BETA-GAMMA A VIE LONGUE
HA	3 900 000	125 000 000	424 000
MA-VL	26 600	3 390 000	448 000
FA-VL	49	2 400	6 600
FMA-VC	1 200	23 000	6 700
TFA	6	3	0,2

[Tableau 3.10] Evolution de la part des déchets conditionnés

	PART DE DECHETS CONDITIONNES A FIN 2004	PART DE DECHETS CONDITIONNES EN 2010	PART DE DECHETS CONDITIONNES EN 2020
HA	84 %	94 %	100 %
MA-VL	37 %	52 %	84 %
FA-VL	16 %	35 %	94 %
FMA-VC	89 %	92%	95 %
TOTAL (hors TFA)	82 %	87 %	94 %

Nota : on rappelle ici que la notion de déchet conditionné dans l'inventaire national est restreinte aux seuls déchets qui se trouvent dans des colis, c'est à dire dont le conditionnement est fait sous une forme définitive. Les autres déchets sont en majorité déjà entreposés dans des conteneurs ; leur complément de conditionnement ultérieur est programmé.



Pour les principales catégories de déchets, les graphiques 3.18, 3.19, 3.20 et 3.21 illustrent sur un même graphe la progression du conditionnement des déchets existants en 2004 et la production de nouveaux déchets sur la période 2005-2020, selon les hypothèses des producteurs, en distinguant :

- les déchets dits d' « exploitation », qui incluent ici :
 - 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
- les déchets liés au démantèlement des installations arrêtées.

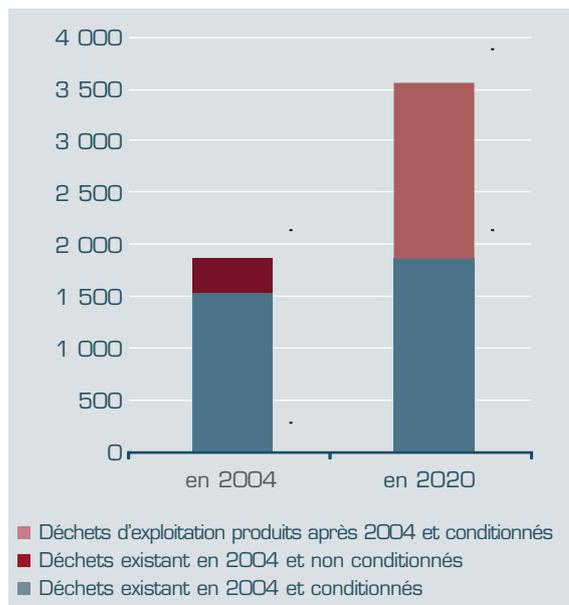
Ces graphiques mettent en regard :

- en bleu clair, la quantité de déchets existant en 2004 qui est sous forme conditionnée en 2004 et 2020 respectivement.
- en rouge, le stock de déchets existant en 2004 non-conditionnés ou préconditionnés. 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 2004, entre 2004 et 2020.
- en rose, le stock de déchets d'exploitation produits et conditionnés en ligne par les producteurs de 2005 à 2020
- en bleu foncé, les déchets de démantèlement engendrés par les opérations d'assainissement d'usines ou d'installations anciennes sur la période 2005-2020.

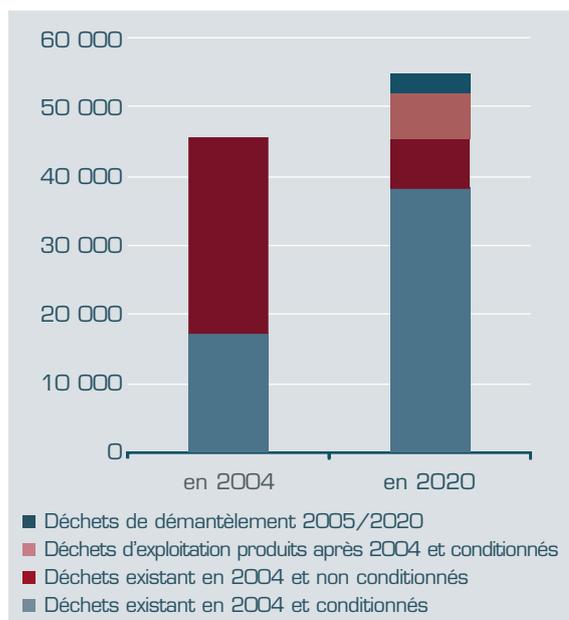
Par ailleurs, on n'a pas cherché à distinguer de parts "conditionnée" et "non conditionnée" pour les déchets TFA, ceux-ci pouvant dans certains cas être acceptés en stockage sans conditionnement spécifique.

Les parts respectives des déchets TFA d'exploitation et de démantèlement sont difficiles à déterminer ; elles résultent d'une première évaluation faite par l'Andra.

[Graphique 3.18] Déchets HA (en m³ équivalent conditionné)

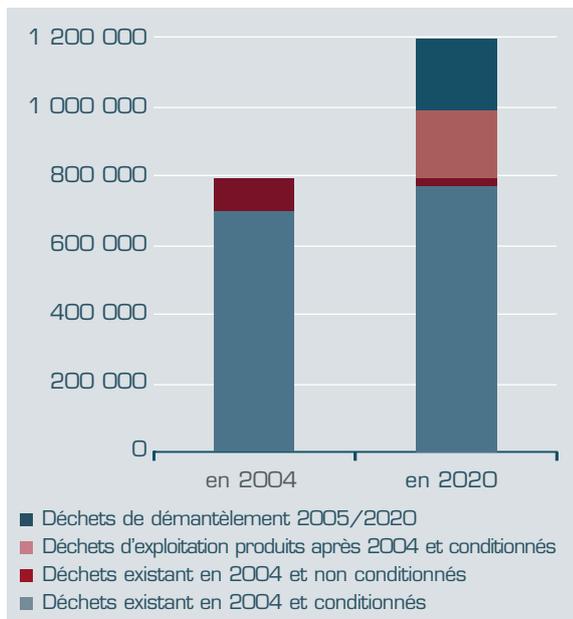


[Graphique 3.19] Déchets MA-VL (en m³ équivalent conditionné)

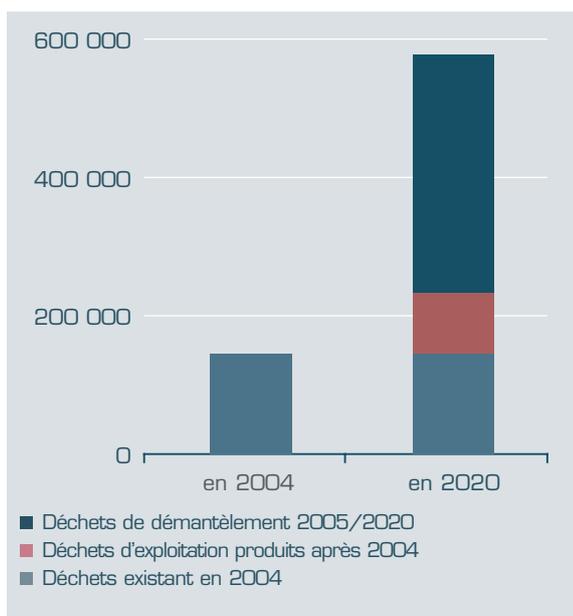




[Graphique 3.20] Déchets FMA-VC (en m³ équivalent conditionné)



[Graphique 3.21] Déchets TFA (en m³)



3.3 Perspectives post-2020

3.3.1 [Les déchets issus du démantèlement des installations nucléaires après 2020]

Comme l'industrie nucléaire est une industrie relativement jeune (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 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 engendrés 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.

Conformément aux recommandations de la mission confiée au président de l'Andra, les volumes globaux de déchets correspondant au démantèlement des installations de toute nature (centres de production d'électricité, usines de traitement, installations du CEA) au-delà de 2020 sont présentés dans le tableau 3.11. 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 qui se seront 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, souvent préliminaires. Le détail des installations prises en compte se trouve dans les différentes sections du chapitre 4, qui les présentent par activité.

[Tableau 3.11] Déchets de démantèlement après 2020 en m³ équivalent conditionné

	INSTALLATIONS DE L'AMONT ET DE L'AVANT DU CYCLE	PARC ACTUEL DES CENTRALES	INSTALLATIONS DE RECHERCHE DU CEA CIVIL (démantèlements jusqu'à 2050)	INSTALLATIONS DU CEA/DAM
MA-VL	3 000	6 000	1 000	0
FA-VL	0	4 000	0	5 100
FMA-VC	55 000	250 000	24 000	26 000
TFA *	73 000	300 000	120 000	71 500

* Lorsque les producteurs déclarent leurs déchets TFA en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

3.3.2 [Les déchets "engagés"]

Pour cette édition de l'Inventaire national, il a été décidé de procéder au calcul complet des déchets dits « engagés » par les installations actuelles sur l'ensemble de leur durée de vie, démantèlement compris. Cela suppose de formuler des hypothèses, par essence fragiles, sur la durée de vie des installations et la manière dont chacune sera gérée. Le lecteur trouvera dans l'annexe 2 du présent rapport plus de détails sur la méthode employée par l'Andra.

Cette méthode a consisté à évaluer le stock total de déchets sous deux scénarios contrastés :

- scénario 1 : arrêt de l'électronucléaire après quarante ans de durée de vie des centrales et arrêt du traitement des

combustibles usés pour ne pas séparer de plutonium excédentaire

- scénario 2 : poursuite de l'électronucléaire incluant le traitement des combustibles MOX et la mise en œuvre d'évolutions technologiques sur la durée (réacteurs de quatrième génération).

Aucun de ces scénarios n'entend préfigurer une politique industrielle. De plus, le groupe de travail en charge de rédiger cet exercice, incluant l'Andra et les producteurs de déchets, a construit ces scénarios en retenant des hypothèses particulières parmi un grand nombre de possibilités. A ce double titre, les stocks de déchets qui en résultent sont à comprendre comme des ordres de grandeur réalistes, mais pas comme des « prévisions » au sens strict.



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

- les stocks de déchets existants en 2020
- le cas échéant, les flux annuels de déchets au-delà de 2020 hors déchets de démantèlement
- les déchets de démantèlement après 2020 (tableau 3.11).

• **Dans un scénario d'arrêt du nucléaire, le bilan des déchets "engagés" est présenté ci-dessous :**

[Tableau 3.12] **Total des déchets produits par les installations actuelles jusqu'à leur fin de vie (démantèlements compris) dans un scénario d'arrêt du nucléaire (scénario 1)**

déchets produits en m ³ équivalent conditionné	
HA (combustibles usés)	70 000 sous hypothèse d'un conditionnement en conteneur de stockage*
HA (déchets vitrifiés)	3 300
MAVL	65 400
FA-VL	115 000
FMA-VC	1 645 000
TFA	1 176 000

* On rappelle que, dans l'inventaire national, les déchets sont déclarés en volume conditionné, c'est-à-dire en volume occupé une fois que leur producteur les a mis sous une forme définitive, avant prise en charge par le gestionnaire à long terme (en général, en stockage). D'éventuels compléments qui seraient ajoutés au moment du stockage ne sont pas pris en compte ; par exemple, les hypothèses de stockage en formation géologique profonde de déchets MA-VL prévoient leur regroupement dans des conteneurs en béton. Les 23 500 tonnes de combustibles usés qui resteraient sans emploi dans ce scénario représentent 9 300 m³ d'assemblages « nus » et environ 70 000 m³ une fois placés dans des conteneurs adaptés pour un stockage en formation géologique profonde, selon les hypothèses de travail de l'Andra. Il n'existe pas de conditionnement spécifique mis en place par le producteur, qui permettrait de comptabiliser les combustibles usés dans une unité homogène avec celle des autres déchets. Une comparaison directe entre le volume de combustibles usés et celui que représentent les autres déchets n'est donc pas possible.

S'ajoute à cela une quantité d'**uranium appauvri et de traitement** non réutilisé, de **444 000 tonnes** (apparentées, en termes de radioactivité contenue, à des déchets de type FA-VL).

• **Dans un scénario de poursuite du nucléaire, le bilan des déchets "engagés" est présenté ci-dessous :**

[Tableau 3.13] **Total des déchets produits par les installations actuelles jusqu'à leur fin de vie (démantèlements compris) dans un scénario de poursuite du nucléaire (scénario 2)**

déchets produits en m ³ équivalent conditionné	
HA (combustibles usés)	0
HA (déchets vitrifiés)	6 800
MAVL	70 300
FA-VL	115 000
FMA-VC	1 700 000
TFA	1 218 000

Ces évaluations sont entachées d'incertitudes qui peuvent être importantes. Pour cette raison, dans les études prospectives sur la gestion des déchets, on peut être amené à prendre en compte des marges de sécurité supplémentaires. A titre

d'illustration, le volume des déchets MA-VL retenu par l'Andra dans les études sur les possibilités de stockage en formation géologique de tels déchets est de 81 000 m³, pour couvrir les incertitudes.

Le recensement des matières valorisables

Les matières décrites ci-après sont dites valorisables du fait de leur potentiel énergétique qui est ou pourra être exploité dans les réacteurs électronucléaires. Ce terme de « valorisable » ne préjuge pas du fait qu'elles seront in fine valorisées ou non. Certaines sont déjà réutilisées à l'heure actuelle, comme le plutonium dans les combustibles MOX par exemple, d'autres sont entreposées en attente.

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. Le lecteur trouvera plus de détail sur le procédé correspondant au chapitre 4.1.

Sont présentés ici **l'uranium appauvri**, **l'uranium de traitement ("URT")** et le **plutonium**, qui sont des produits "secondaires" du cycle du combustible (c'est-à-dire que leur existence découle de l'utilisation d'uranium naturel à des fins de production d'électricité), ainsi que les **combustibles usés**.

• L'uranium appauvri

L'uranium appauvri est issu des usines d'enrichissement. L'enrichissement consiste à augmenter la concentration en uranium 235 (l'isotope énergétique trop faiblement présent dans l'uranium naturel, à hauteur de 0,71%) de façon à obtenir une matière utilisable comme combustible dans les centrales nucléaires à eau légère.

Conteneurs d'uranium appauvri à Pierrelatte



Lors de l'enrichissement, on obtient sous une forme chimique adaptée (hexafluorure d'uranium, UF₆) :

- d'une part, de l'uranium enrichi en uranium 235 qui servira comme combustible
- d'autre part, de l'uranium appauvri en uranium 235, isotope présent avec une teneur de l'ordre de 0,3 %.

En attendant, l'uranium appauvri est transformé en une matière solide, stable, incombustible, insoluble et non corrosive, l'oxyde d'uranium (U₃O₈), qui se présente sous la forme d'une poudre noire.

Cet oxyde d'uranium est ensuite entreposé dans des conteneurs de 10 tonnes sur les sites de COGEMA Pierrelatte (26) et de Bessines-sur-Gartempe (87).

Au 31 décembre 2004, de l'ordre de 240 000 tonnes d'uranium appauvri sont entreposées en France (dont 145 000 tonnes à Pierrelatte et 75 000 tonnes à Bessines-sur-Gartempe; le reste correspondant principalement à des en-cours d'UF₆ de l'usine d'EURODIF).

L'uranium appauvri issu des opérations d'enrichissement réalisées par le groupe AREVA reste propriété de celui-ci. L'uranium appauvri est utilisé depuis plusieurs années comme matrice support du combustible MOX. Dans l'hypothèse d'une poursuite du programme nucléaire avec le développement de nouvelles générations de réacteurs, ceux-ci pourraient également accepter des combustibles dont la matrice réutiliserait l'uranium appauvri.

Le ré-enrichissement de l'uranium appauvri, en vue de l'utiliser directement comme combustible, pourrait également être réalisé, si les conditions économiques conduisaient à un renchérissement du prix de l'uranium. A ce jour, le prix relativement bas de l'uranium ne justifie pas cette utilisation.

• 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 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, 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 des réacteurs EL4 et SUPERPHÉNIX**, respectivement à eau lourde et à neutrons rapides, qui sont désormais arrêtés

> **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 physico-chimique que les combustibles EDF. Ils sont aussi 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.

L'Inventaire recense les combustibles en cours d'utilisation dans les centrales ainsi que ceux en attente de traitement. 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 ne seront traités qu'après 2020. On trouvera au chapitre 4.2 plus de détail sur la gestion des combustibles, avec les quantités afférentes en 2004, 2010 et 2020.

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

Le CEA civil et la CEA/DAM ont également déclaré leurs combustibles par type ; le lecteur trouvera plus de détail sur les réacteurs en question et les combustibles associés dans les chapitres 4.5. et 4.10.

Conteneurs de nitrate d'uranyle et atelier de conversion TU5 à Pierrelatte



• L'uranium dit "de traitement" (ou "URT")

L'uranium extrait des combustibles usés 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 eau légère avec des taux de combustion de 45 à 55 000 MW/t. Pour être réutilisé dans des réacteurs refroidis à l'eau légère, tels que ceux exploités actuellement par EDF, un réenrichissement est nécessaire.

L'URT est entreposé soit sous forme d'UF₆, soit sous forme d'U₃O₈ 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 2004 sont entreposées en France (hors de faibles en-cours de nitrate d'uranyle non convertis à cette date) :

- **9 200 tonnes d'URT issus du combustible Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG)** (entreposées environ pour moitié à Marcoule et à Pierrelatte). L'URT entreposé à Marcoule est sous forme de nitrate d'uranyle ; il est envoyé progressivement à Pierrelatte pour conversion en U₃O₈. Depuis 1997, suite à l'arrêt de la filière UNGG, il n'y a plus de production d'URT UNGG

- **8 800 tonnes d'URT français issus du combustible Eau Légère** entreposées à Pierrelatte sous forme d'U₃O₈.

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 2004, de l'ordre de **2 500 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 plutonium

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 à La Hague sous forme stable de poudre PuO_2 (dans les ateliers R4 et T4 de La Hague).

Le plutonium est aujourd'hui utilisé dans le **combustible MOX**, qui comporte de l'uranium et du plutonium sous la forme de pastilles de poudre d'oxydes $(\text{U,Pu})\text{O}_2$.

En France, 20 réacteurs utilisent aujourd'hui du combustible MOX, qui représente ainsi environ 10% de la production électrique nucléaire nationale.

Le rythme actuel de traitement est maintenu à l'équilibre, c'est-à-dire qu'il permet de recycler au fur et à mesure la quantité de plutonium séparée à La Hague. Ainsi, le stock de plutonium séparé français est stabilisé.

A terme, les industriels envisagent la possibilité d'augmenter la capacité de consommation du plutonium, par l'utilisation accrue de combustibles MOX dans des réacteurs supplémentaires. Cette opération nécessiterait l'accord des Autorités compétentes.

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 2004, **78,5 tonnes de Pu** sont entreposées en France, dont :

- 50,7 tonnes de Pu séparé et entreposé à La Hague sous forme de PuO_2
- 12,7 tonnes de Pu en cours d'utilisation dans le processus de fabrication de combustibles MOX (sous forme de PuO_2 , d'oxyde mixte $(\text{U,Pu})\text{O}_2$ ou encore en assemblages MOX finis)
- 12,8 tonnes de Pu en assemblage MOX non-irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF
- 2,3 tonnes de Pu séparé entreposé dans diverses installations (notamment de recherche).

Sur ces 78,5 tonnes, **48,8 tonnes de Pu sont de propriété française** et le stock de Pu séparé d'EDF à La Hague correspond à 26 tonnes environ, soit 3 années de fabrication de combustible MOX.

Le stock de plutonium relevant des activités militaires (voir sous-chapitre 4.10) est couvert par le secret défense.

En résumé :

Les matières, comptabilisées selon les principes exposés au paragraphe 2.6, sont récapitulées dans le tableau 3.14. Ce dernier donne les parts de matières françaises en 2004, 2010 et 2020. 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 2010 et 2020 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 2010 et 2020 sont les mêmes que ceux qui ont été utilisés pour les déchets (voir sous-chapitre 3.2).

Boîtes de PuO_2 (La Hague)



Assemblage combustible MOX





[Tableau 3.14]

	2004	2010	2020
Stock d'uranium appauvri issu des usines d'enrichissement (voir 4.1)	240 000 t	280 000 t	350 000 t
En-cours d'hexafluorure d'uranium dans les usines d'enrichissement (voir 4.1)	3 100 t	En diminution	Inférieur à 40 t
Combustible en utilisation dans les centrales EDF (tous types), en tonnes de métal lourd	4 955 t	4 955 t	4 955 t
Combustibles usés à l'oxyde d'uranium d'EDF en attente de traitement, en tonnes de métal lourd	10 700 t	11 250 t	10 850 t
Autres combustibles de la filière REP entreposés : • Uranium de traitement enrichi (URE) • Mixtes Uranium - Plutonium (MOX)	200 t 700 t	350 t 1 300 t	700 t 2 350 t
Uranium de traitement (voir 4.3) (part française, propriété EDF, AREVA, CEA)	18 000 t	21 200 t	26 400 t
Combustible du réacteur à neutrons rapides SUPERPHÉNIX (part française)*	75 t	75 t	75 t
Combustible du réacteur EL4 de Brennilis (propriété CEA et EDF)	49 t	49 t	49 t
Plutonium non irradié, d'origine électronucléaire ou recherche (voir 4.3 et 4.5) (part française)**	48,8 t	Stock globalement stable	Stock globalement stable
Combustibles de recherche du CEA civil	63 t	37 t	18 t
Combustibles de la Défense	35 t	50 t	70 t
Thorium (stocks du CEA et de Rhodia, sous forme de nitrate et d'hydroxydes)	33 300 t	33 300 t	33 300 t
"Matière en suspension" (stock de Rhodia)	19 585 t	26 185 t	37 185 t

* Ce tonnage n'inclut pas les assemblages fertiles (51 tonnes) qu'EDF ne considère pas comme valorisables.

** Ce chiffre inclut le plutonium séparé, ou présent dans le combustible MOX neuf. Il ne comptabilise en revanche pas le plutonium contenu dans les combustibles usés. A titre indicatif, un combustible à l'oxyde d'uranium usé contient 1% en masse de Pu, un combustible MOX usé en contient 4 à 5%.

La quantité de combustibles usés produits par le parc actuel au-delà de 2020 est évaluée à 7 000 tonnes, sous l'hypothèse de 40 ans de vie pour les centrales et d'une production moyenne de 400 TWh/an sur la durée de vie du parc.

4



Inventaire par catégorie de producteurs ou détenteurs

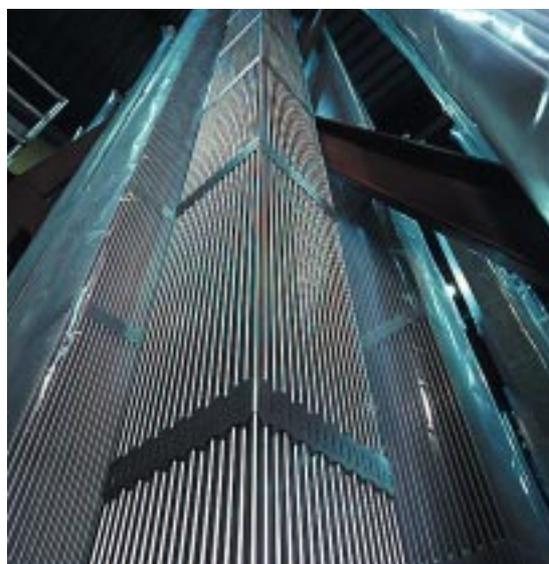


L'Inventaire national a choisi de décrire l'origine des déchets radioactifs selon **douze catégories d'activités**, définies dans le paragraphe 1.3.

Ce chapitre en présente les états de synthèse : déchets radioactifs et matières valorisables répertoriés au 31 décembre 2004 et estimés aux horizons 2010 et 2020.

La présentation retenue pour chacune de ces douze catégories s'organise de la manière suivante :

- **description de la catégorie de producteurs/détenteurs**, et, le cas échéant, des principaux sites concernés. La description inclut des informations générales sur les déchets présents ou produits sur le site. Le lecteur trouvera un état détaillé des stocks répertoriés au 31 décembre 2004 dans l'Inventaire géographique
- **principaux types de déchets** produits par l'activité
- **scénarios retenus pour les états de synthèse prévisionnels de la période 2005-2020**
- **inventaire pour l'activité concernée**
Il présente les stocks de déchets par catégorie en 2004, 2010 et 2020, toutes origines confondues (exploitation, démantèlement ou opérations particulières). Le niveau de détail varie selon la disponibilité des informations et l'éventail des déchets de chaque catégorie
- **estimation des déchets radioactifs au titre du démantèlement** des installations, au-delà de 2020. 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

- **matières valorisables** éventuelles relatives à l'activité en question.





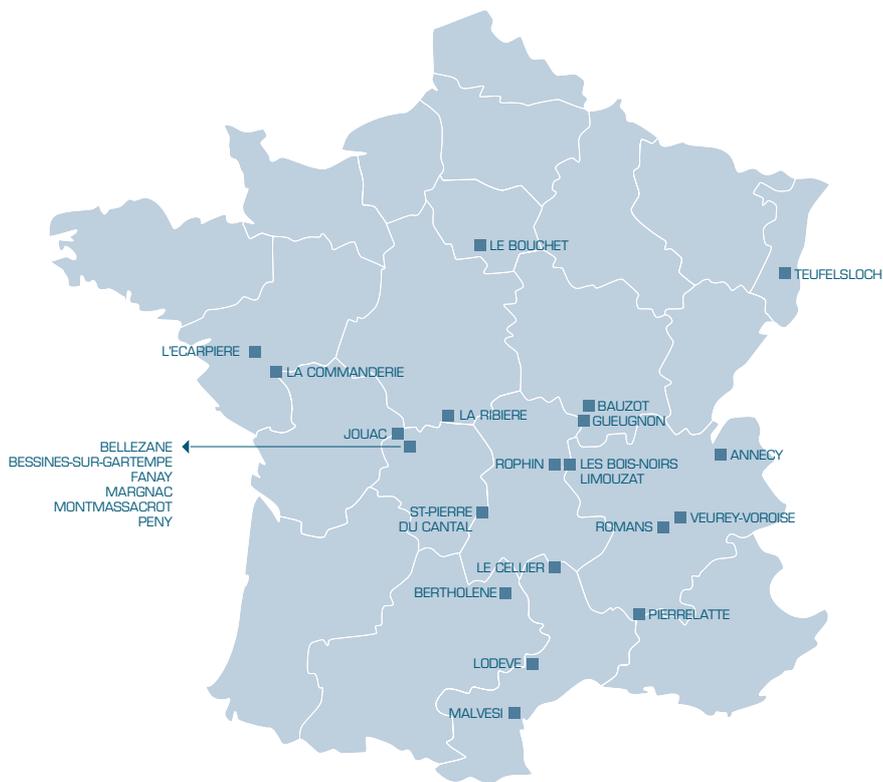
4.1 Amont du cycle du combustible

Cette catégorie de producteurs englobe les établissements liés à la fabrication des combustibles nucléaires en vue d'une production d'électricité. L'usine du Bouchet (CEA), comptabilisée dans cette activité et dans laquelle se sont

menées les premières activités d'enrichissement à l'échelle du pilote industriel, relève à ce titre du secteur économique "Recherche".

La plupart de ces établissements (Carte 4.1) 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.

[Carte 4.1] Carte des établissements de l'amont du cycle du combustible



Mine d'uranium de Bellezane réaménagée



Broyage du minerai - France (COGEMA)



Pastilles d'uranium (usine FBFC à Romans)



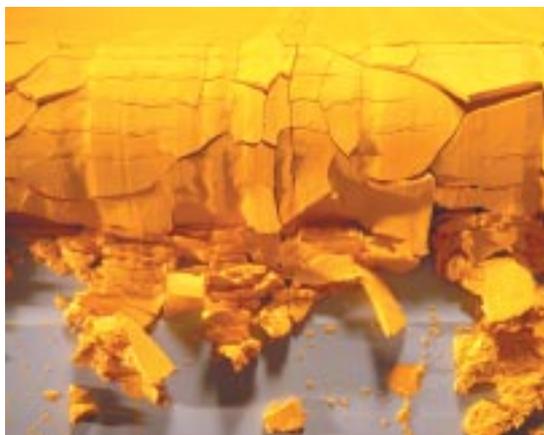


4.1.1. [Description de l'activité]

• 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.



Concentré d'uranium *yellow cake* sur filtre à bande

Mine d'uranium de Bellezane en exploitation



Les résidus de traitement des minerais d'uranium sont stockés sur les anciens sites d'extraction et de traitement, ou à proximité. Les 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), Le Bouchet (91) sur lequel le CEA a également traité du thorium, et Gueugnon (71).



Site du Bouchet : assainissement (CEA)

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. L'inventaire géographique précise l'état des déchets présents sur chaque site. Il mentionne également l'existence de trois sites de la Division minière de la Crouzille (COGEMA, anciennement CEA), 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).

• 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'UF₄
(tétrafluorure d'uranium)



Cristaux d'UF₆ (hexafluorure d'uranium)
(Usine de conversion COMURHEX-Pierrelatte)





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

• Enrichissement

Le minéral d'uranium 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 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.

• 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.

Contrôle d'aspect des assemblages
combustibles (COGEMA)





Caissons métalliques de déchets solides (amont du cycle)



Déchets TFA en cours de stockage

> 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 de COGEMA 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.

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 m³ 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 m³.

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 cinquantaine 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 de l'Aube et le Centre TFA où ils sont agréés. Ils sont, pour cette raison, comptabilisés dans la catégorie des 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 27 600 tonnes, soit environ 18 000 m³. Ils se présentent sous forme de terres et de gravats contaminés en uranium et en thorium.



4.1.3. [Scénario pour la période 2005-2020]

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).

4.1.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Les tableaux 4.1 et 4.2 présentent les stocks de déchets pour chaque catégorie en 2004, 2010 et 2020.

4.1.5. [Déchets au titre du démantèlement après 2020]

Ces déchets, déclarés par COGEMA, couvrent notamment le démantèlement des installations des usines COMURHEX et FBFC (tableau 4.3).

USINE GEORGES BESSE II

L'usine Georges Besse 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 2007/2008. 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, suite au 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 à l'horizon 2020, dont ils constituent une part importante.

* Unité de Travail de Séparation (unité de compte pour l'activité d'enrichissement)

[Tableau 4.1] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

FA-VL	18 025
FMA-VC	51 190
dont stockés au Centre de stockage de la Manche *	40 045
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	10 418
TFA **	8 627
dont stockés au Centre de stockage TFA	701

* Les écarts qui peuvent exister sur les volumes de déchets stockés au Centre de stockage de la Manche, par rapport à l'édition précédente de l'inventaire, sont la conséquence d'une évaluation plus précise de la répartition de ces déchets par catégories d'activité.

** Dans ce tableau et dans les suivants, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

[Tableau 4.2] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

	2010	2020
FA-VL	18 025	18 025
FMA-VC	54 762	60 126
TFA	22 099	140 924

[Tableau 4.3] Démantèlements après 2020 en m³ équivalent conditionné

FMA-VC	5 000
TFA	28 000



4.1.6. [Matières valorisables]

240 000 tonnes d'uranium appauvri (en masse d'uranium) de propriété française sont entreposées au 31 décembre 2004 dont 145 000 tonnes à Pierrelatte (26) sous forme d'U₃O₈, et 75 000 tonnes à Bessines-sur-Gartempe (87). Cet uranium est issu des contrats d'enrichissement pour le compte d'EDF, ainsi que pour d'autres clients.

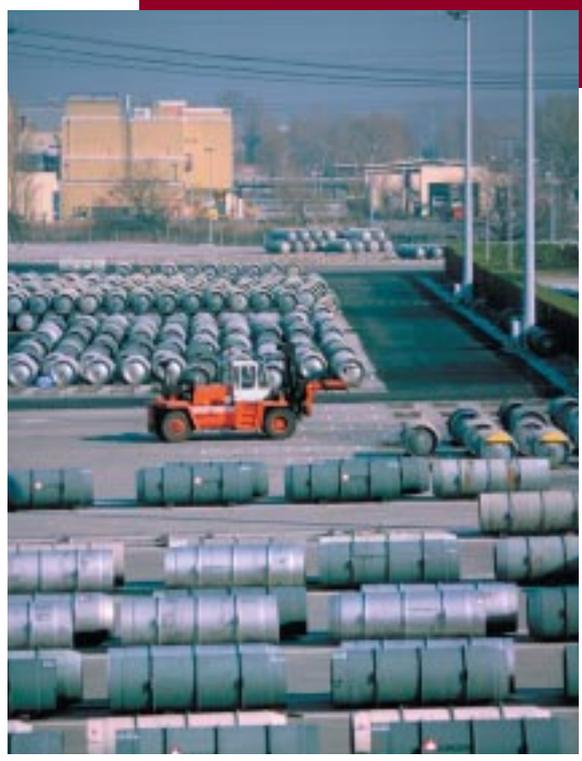
Les prévisions pour 2010 et 2020 n'incluent que la part d'uranium appauvri ajoutée par l'enrichissement à destination des combustibles d'EDF. Les autres contrats que l'usine Georges Besse pourrait honorer, qui conduiraient à augmenter le stock d'uranium appauvri entreposé sur site, sont en effet difficiles à anticiper pour 2010 et 2020, dans la mesure où ils dépendent des conditions du marché mondial de l'enrichissement. On comptabilise sur cette base 40 000 tonnes supplémentaires entre 2005 et 2010, et 70 000 tonnes ajoutées entre 2011 et 2020.

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.

Le stock tampon d'hexafluorure d'uranium dans les procédés de conversion, d'enrichissement et de déconversion est à tout instant de l'ordre de 3 100 tonnes (en masse d'uranium). Avec le procédé de centrifugation qui sera mis en oeuvre dans l'usine Georges Besse II, l'en-cours de l'ensemble des procédés sera inférieur à 40 tonnes.

Au 31 décembre 2004, la quantité d'assemblages combustibles neufs fabriqués par FBFC Romans pour le compte d'EDF, entreposés en attente d'expédition en réacteurs, est de l'ordre de 100 tonnes (en masse d'uranium).

Entreposage de conteneurs d'UF6 à l'usine d'enrichissement Georges Besse d'EURODIF / Site du Tricastin



Entreposage de conteneurs d'Uranium appauvri COGEMA Pierrelatte / Site du Tricastin



4

Inventaire par catégorie de producteurs

4.2

Centres nucléaires de production d'électricité

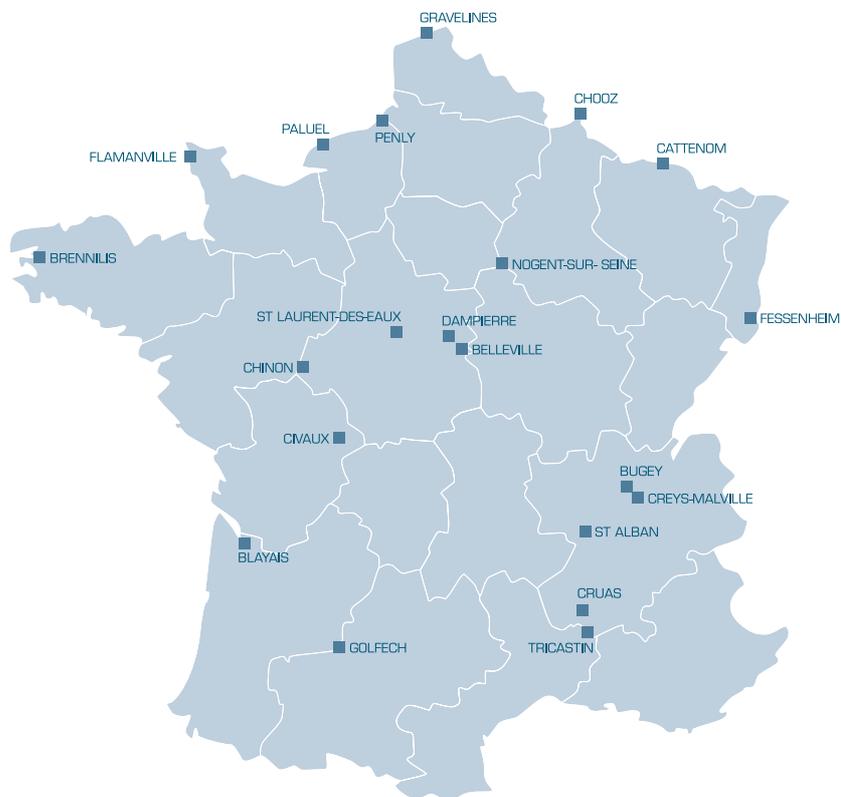
Cette activité regroupe l'ensemble des centrales exploitées par EDF. Le parc électronucléaire français se compose actuellement de 58 réacteurs nucléaires en fonctionnement, exploités par EDF, implantés sur 19 sites géographiques, et de 9 réacteurs définitivement arrêtés (voir carte 4.2 et tableau 4.4).

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 2001, constitue l'intégralité du parc en exploitation. Elle 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) ou liées à la Force de dissuasion pour les piles G2 et G3 (voir sous-chapitre 4.10).

Les premiers réacteurs de la filière neutrons rapides - sodium (RAPSODIE, PHÉNIX) 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 de deux prototypes : EL 4 (unique réacteur électrogène de la filière eau lourde) et Chooz A (réacteur REP de 300 Mégawatts), arrêtés respectivement en 1985 et 1991.

[Carte 4.2] Carte des centres nucléaires de production d'électricité





Centrale de Saint-Laurent-des-Eaux



Centrale de Cruas



Ecorché d'un combustible Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG)



4.2.1. [Description du secteur d'activité]

Les assemblages combustibles REP séjournent quelques années au cœur des réacteurs de production d'électricité. En fonction de sa puissance, chaque réacteur utilise en permanence de 150 à 200 assemblages combustibles, chacun d'entre eux contenant environ 500 kg d'uranium légèrement enrichi. Les combustibles sont majoritairement à l'oxyde d'uranium (UOX) élaboré à partir d'uranium naturel enrichi. Cependant, 20 réacteurs de 900 Mégawatts sont autorisés à charger des combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) et 2 réacteurs de 900 Mégawatts (Cruas 1 et 2) peuvent utiliser du combustible de type URE fabriqué à partir d'uranium de traitement réenrichi (cf. paragraphe 4.3.6).

En sortie de réacteur, les combustibles usés de type UOX et URE renferment 95 % d'uranium et environ 1 % de plutonium (5% pour les combustibles usés de type MOX). Ils ne sont pas considérés comme des déchets en raison du potentiel énergétique contenu dans ces matières valorisables (voir sous-chapitre 3.4). 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 des produits de corrosion activés qui s'y sont déposés.

Centrale de Cruas



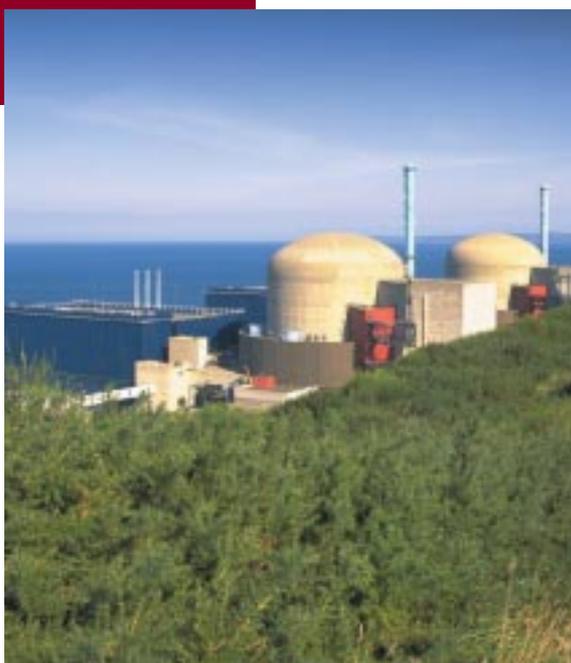
Centrale du Bugey





Centrale de St-Laurent-des-Eaux

Centrale de Flamanville



Centrale de Paluel





[Tableau 4.4] Centrales en fonctionnement

DATE DU PREMIER COUPLAGE au réseau / site	NOMBRE DE REACTEURS EN EXPLOITATION / FILIERE	PUISSANCE NETTE PAR REACTEUR
04/ 1977 - FESSENHEIM	2 - REP	880 MWe
05/ 1978 - BUGEY	4 - REP	910 / 880 MWe
03/ 1980 - GRAVELINES	6 - REP	910 MWe
03/ 1980 - DAMPIERRE	4 - REP	890 MWe
05/ 1980 - TRICASTIN	4 - REP	915 MWe
01/ 1981 - SAINT-LAURENT B	2 - REP	915MWe
06/ 1981 - BLAYAIS	4 - REP	910 MWe
11/ 1982 - CHINON B	4 - REP	905MWe
04/ 1983 - CRUAS	4 - REP	915 MWe
06/ 1984 - PALUEL	4 - REP	1 330 MWe
08/ 1985 - SAINT-ALBAN	2 - REP	1 335 MWe
12/ 1985 - FLAMANVILLE	2 - REP	1 330 MWe
11/ 1986 - CATTENOM	4 - REP	1 300 MWe
10/ 1987 - BELLEVILLE	2 - REP	1 310 MWe
10/ 1987 - NOGENT-SUR-SEINE	2 - REP	1 310 MWe
05/ 1990 - PENLY	2 - REP	1 330 MWe
06/ 1990 - GOLFECH	2 - REP	1 310 MWe
08/ 1996 - CHOOZ B	2 - REP	1 455 MWe
12/ 1997 - CIVAUX	2 - REP	1 450 MWe
19 SITES	58 REACTEURS NUCLEAIRES	

Enfin, 9 réacteurs arrêtés (tableau 4.5) produisent des déchets d'assainissement et/ou de démantèlement selon la programmation des phases de leur déconstruction.

Ce secteur d'activité inclut aussi l'Atelier des Matériaux Irradiés (AMI) de la Centrale de Chinon, qui procède à des expertises sur des structures irradiées.



Démantèlement de la Centrale de Brennilis



Démantèlement de la Centrale de Brennilis

[Tableau 4.5] Centrales en cours de démantèlement

LIEUX	TYPE	NOMBRE DE REACTEURS
CHOOZ	REP	1 REACTEUR
BRENNILIS	EL4	1 REACTEUR
SAINT-LAURENT-DES-EAUX	UNGG	2 REACTEURS
CHINON	UNGG	3 REACTEURS
BUGEY	UNGG	1 REACTEUR
CREYS-MALVILLE	RNR	1 REACTEUR / SURGENERATEUR



Chemise graphite
Combustible UNGG



Chemise graphite
et combustible UNGG

4.2.2. [Déchets produits par le secteur d'activité]

La France ayant choisi de traiter les combustibles usés, ceux-ci 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 déchets induits par la production électronucléaire sont uniquement ceux résultant de l'exploitation et de la maintenance des équipements actuels.

• MA-VL

Les déchets de ce type, produits en fonctionnement, sont des pièces métalliques rebutées qui ont été soumises directement au bombardement neutronique (déchets « activés »). Il s'agit principalement de grappes - assemblage de 24 crayons absorbants qui coulisent dans l'assemblage combustible - destinées soit à réduire la réactivité du cœur lors de son premier démarrage (grappes fixes « poisons »), soit à piloter le réacteur (grappes de contrôle mobiles). Des critères stricts sur leur usure mécanique et neutronique conduisent à les remplacer plusieurs fois au cours de la vie de la tranche. Ces déchets présentent une contamination surfacique associée à une activité importante localisée dans la masse métallique. L'hypothèse de conditionnement émise par EDF dans le cadre de l'Inventaire national est un compactage en conteneur inox dans l'usine de COGEMA La Hague, mais des solutions alternatives sont à l'étude : l'une d'entre elle consiste à utiliser la future installation ICEDA (voir paragraphe 4.2.3)

• FA-VL

Contrairement à la filière actuelle REP, l'ancienne filière UNGG a engendré des déchets FA-VL dits graphites. On distingue les éléments qui entouraient le combustible (les « chemises ») de ceux qui l'accueillaient dans les cœurs de réacteurs (les « empilements »). Les empilements sont encore en place, et ne sont donc pas considérés comme des déchets en 2004, mais le seront au moment de leur démantèlement, tandis que les chemises ont été retirées et entreposées. Les réacteurs concernés sont en attente de démantèlement. L'hypothèse de conditionnement retenue par EDF et l'Andra est une cimentation dans un caisson en béton. Le volume du colis correspondant est de l'ordre de 3 m³ par tonne de déchet.

• TFA et FMA-VC

Le fonctionnement des centrales EDF et les activités d'entretien 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.



Fûts de déchets et coques de déchets cimentés



Caisson métallique de déchets cimentés



Coques béton de déchets cimentés

A 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 place dans des colis de béton, ou dans des fûts ou caissons métalliques injectés sur le Centre de stockage de l'Aube. Ils se déclinent sous forme de résines enrobées dans des matrices polymères (en conteneur béton), de filtres et autres déchets de maintenance enrobés dans un matériau à base de ciment (en conteneur béton), de déchets solides en caisson métallique ou encore de déchets divers pré-compactés (en fûts métalliques à compacter au Centre de stockage FMA de l'Aube).

Les déchets TFA d'EDF recouvrent des natures variées. Il s'agit de déchets issus des « zones nucléaires » des

centrales présentant un niveau de radioactivité très bas, voire, dans certains cas, non mesurable.

Certains déchets prévus à court et moyen terme seront plus volumineux. Cette inflexion tient aux importantes opérations de maintenance programmées sur les centrales du parc électronucléaire, notamment le remplacement des couvercles de cuves sur 54 réacteurs et des générateurs de vapeur sur 24 réacteurs (33 unités déposées à ce jour, 72 prévues à horizon 2020, pour un volume attendu de 14 400 m³). Pour les générateurs de vapeur, EDF étudie plusieurs options dont celle d'un stockage au Centre de l'Aube. De plus, le démantèlement des centrales les plus anciennes engendra également des volumes importants de déchets, essentiellement TFA et FMA-VC.



4.2.3. [Scénario pour la période 2005-2020]

Le scénario retenu tient compte des choix industriels effectués par EDF et présentés à l'Autorité de sûreté nucléaire en 2001/2002. Il pérennise les pratiques actuelles, sans rupture, en matière de traitement du combustible usé.

- **Les performances des combustibles** vont s'accroître : l'augmentation des taux de combustion des assemblages combustibles qui seront, à compter de 2008, progressivement introduits dans les réacteurs REP, va réduire la consommation de combustibles (à production électrique inchangée). Actuellement EDF charge et décharge environ 1150 tML⁽¹⁾ par an. La politique d'accroissement des taux de combustion associée à la mise en œuvre de nouvelles gestions de combustible, devrait permettre d'atteindre, à horizon 2015, l'égalité des flux entre les quantités de combustibles annuellement déchargés et les quantités de combustibles traitées (soit 850 tML/an) et ainsi de stabiliser les stocks de combustibles usés (UOX ou MOX) entreposés à La Hague en attente de traitement. La reprise des combustibles de type UOX devrait être prioritaire sur le traitement des combustibles MOX et non encore achevée en 2020 ; de ce fait, le traitement des combustibles MOX irradiés n'aura en principe pas commencé à cette date (voir paragraphe 4.3.3).

Pour atteindre les performances escomptées, les futurs combustibles offriront des caractéristiques nouvelles - enrichissement accru en uranium fissile (uranium 235) et

(1) tML : tonne de métal lourd

adaptation des matériaux de gainage (alliages avancés). L'irradiation plus poussée en réacteur fera, elle aussi, évoluer leurs caractéristiques.

La quantité de combustible MOX utilisée durant la période 2005-2020, 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 envisagée pour le combustible MOX, de stabiliser le stock de plutonium.

- **Les démantèlements**, pour certains déjà entrepris par EDF, se poursuivront pendant la période 2005-2020. Sont concernées : les centrales de Brennilis (qui a été exploitée conjointement par EDF et CEA), Chooz A, Creys-Malville (SUPERPHÉNIX), ainsi que les anciennes centrales de la filière Uranium Naturel Graphite Gaz, à savoir Chinon A, Bugey 1, Saint-Laurent A. EDF s'est engagée dans un programme de démantèlement complet de toutes ces centrales dites "de première génération" d'ici 2025.
- **L'EPR (European Pressurized water Reactor) FLA3** (voir encadré) devrait être mis en service à l'horizon 2012, selon le calendrier envisagé aujourd'hui, pour une durée prévisionnelle de 60 ans. Compte tenu qu'il n'aura fonctionné que 8 ans en 2020, les déchets qu'il aura produit à cette date sont négligeables devant le stock dû aux 58 autres réacteurs et n'ont pas été spécifiquement comptabilisés.

EPR (European Pressurized water Reactor) FLA3

L'EPR (European Pressurized water Reactor) dont la construction d'une tête de série est envisagée en 2007 sur le site de Flamanville dans la Manche (FLA 3), est un réacteur de même type que ceux exploités actuellement, mais présentant un certain nombre d'évolutions. D'une puissance de 1600 MW, il prend en compte les améliorations issues du retour d'expérience des réacteurs actuellement en fonctionnement.

EDF prévoit que l'augmentation des performances de la "chaudière", liée à la conception du cœur et au combustible lui-même, diminuera de 15% la consommation d'uranium à production électrique identique tout en apportant plus de flexibilité aux opérations de rechargement du combustible. De conception très semblable à celui des combustibles REP actuels, les combustibles EPR présenteront, pour des enrichissements en uranium 235 compris entre 4,50% et 4,95%, des taux de combustion plus élevés que ceux des combustibles REP.

Le réacteur EPR engendra des déchets de traitement de combustible, d'exploitation et de maintenance, de même nature que ceux issus actuellement des réacteurs REP français. Rapportée à la puissance électrique produite par le réacteur, la quantité de déchets sera moindre : sur la base des procédés actuels de traitement et de conditionnement, cette diminution par rapport à la moyenne actuelle du parc de centrales (ramenée à la production électrique nette), est estimée par EDF comme voisine de 30% pour les déchets de moyenne activité à vie longue directement issus du combustible (voir leur description au sous-chapitre 4.3) et de 50% pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte. Par ailleurs, l'EPR offre des possibilités de chargement en assemblages MOX supérieures à celles autorisées dans les REP actuels.



- Parmi les installations nouvelles qui devraient voir le jour d'ici 2020, on note également ICEDA (Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés, voir encadré), qui a fait l'objet d'une demande d'autorisation de création auprès des autorités courant octobre 2005.

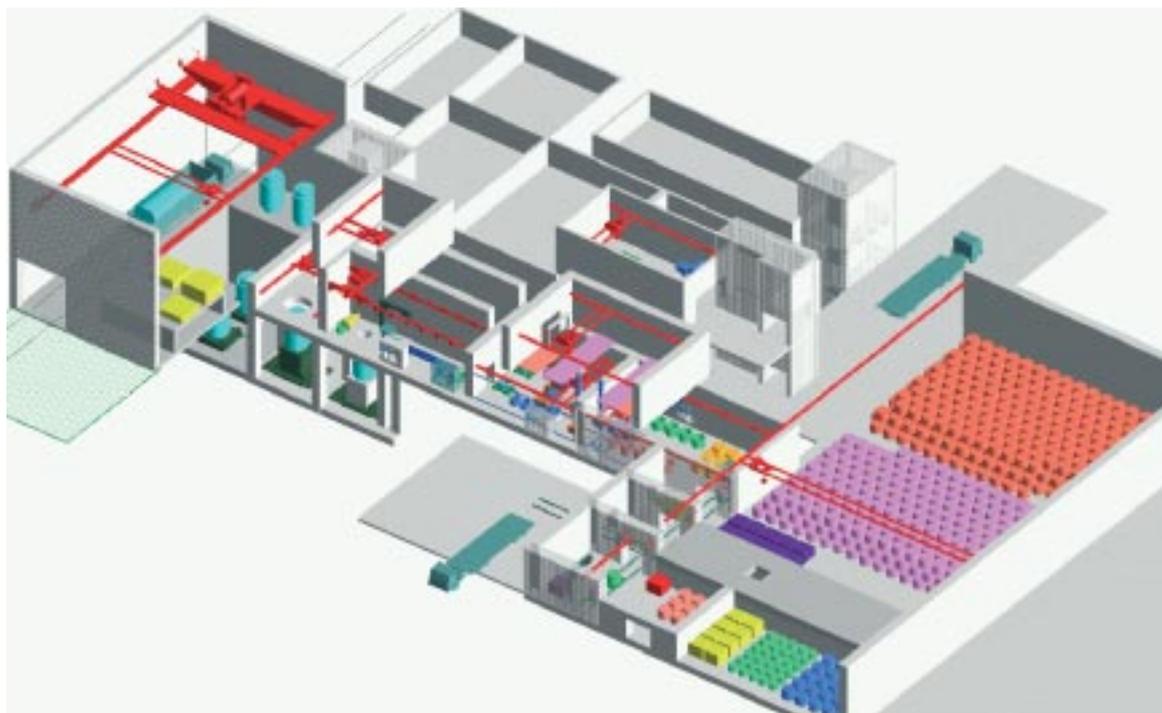
En tant qu'installation nucléaire de base, l'ICEDA sera soumise à enquête publique, probablement à la fin du premier semestre 2006. L'exploitation de cette installation ne devrait engendrer que des quantités très faibles de déchets.

ICEDA (Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés)

Le programme de déconstruction des 9 centrales nucléaires définitivement arrêtées, décidé par EDF en 2001, conduira à extraire de ces installations à partir de 2008-2009 une faible part de déchets MA-VL. Ces déchets sont constitués pour l'essentiel de pièces métalliques irradiées durant l'exploitation du réacteur (d'où leur nom de "déchets activés").

La solution envisagée pour la gestion de ces déchets à vie longue consiste à réaliser une Installation centralisée de réception, de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés (ICEDA), qui permettra d'attendre la mise en œuvre d'une solution de gestion à long terme.

Le conditionnement permet d'immobiliser les déchets dans un matériau cimentaire solide et durable afin d'éviter tout risque de dispersion. L'entreposage assure la protection de l'homme et de l'environnement vis-à-vis des rayonnements issus des déchets conditionnés. Ces opérations de conditionnement et d'entreposage ne préjugent pas du devenir de ces déchets dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 (voir chapitre 1) et laissent ouvertes les diverses voies à l'étude pour la gestion à long terme de ces déchets.





4.2.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Les tableaux 4.6 et 4.7 présentent les stocks de déchets pour chaque catégorie en 2004, 2010 et 2020.

[Tableaux 4.6] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

MA-VL	265
FA-VL	6 078
FMA-VC (stockés ou non stockés)	266 882
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	185 767
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	70 179
TFA *	26 231
dont stockés au Centre de stockage TFA	5 363

* Dans ce tableau et dans les suivants, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

[Tableau 4.7] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

	2010	2020
MA-VL	609	884
FA-VL	6 078	53 078
FMA-VC	338 965	509 068
TFA	80 395	136 165

Nota : Les « bétons sodés » provenant du démantèlement de SUPERPHENIX sont comptabilisés dans les déchets TFA, pour prendre en compte l'intention d'EDF de laisser décroître l'activité radiologique de ces déchets et ne les stocker que lorsque le niveau d'activité atteint sera compatible avec un stockage TFA.

4.2.5. [Démantèlements après 2020]

Les volumes liés aux démantèlements postérieurs à 2020 correspondent en premier lieu à la fin du démantèlement des

centrales aujourd'hui arrêtées, puis au démantèlement des 58 réacteurs du parc électronucléaire actuel. Les volumes estimés par EDF sont les suivants (tableau 4.8) :

[Tableau 4.8] Démantèlement après 2020 en m³ équivalent conditionné

MA-VL	6 000
FA-VL	4 000
FMA-VC	250 000
TFA *	295 000

* Le ratio moyen appliqué ci-dessus, issu du retour d'expérience du centre TFA, s'applique à 323 000 tonnes.



4.2.6. [Matières valorisables]

• Stocks au 31 décembre 2004

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 22 000 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 usés ou en cours d'utilisation au 31 décembre 2004 se ventilent ainsi :

- combustibles présents en réacteur, soit 4 955 tonnes à tout moment, se répartissant de la manière suivante (tableau 4.9) :

[Tableau 4.9] Combustible en utilisation dans les centrales EDF, en tonnes de métal lourd au 31 décembre 2004

Oxyde d'Uranium naturel enrichi (UOX)	4 569 tonnes
Oxyde d'Uranium de traitement enrichi (URE)	74 tonnes
Oxyde mixte Uranium - Plutonium (MOX)	312 tonnes

- combustibles usés entreposés sous eau pour décroissance dans les piscines des centrales ou de l'usine de La Hague, soit 11 600 tonnes au 31 décembre 2004 (tableau 4.10). Au 31 décembre 2004, tous les combus-

tibles UNGG d'EDF ont été traités, ainsi que 10 600 tonnes de combustibles REP UOX. Le traitement des combustibles EDF de type particulier (URE et MOX) n'est pas encore engagé

[Tableau 4.10] Combustible usés d'EDF par filière, en tonnes de métal lourd, en attente de traitement au 31 décembre 2004

Oxyde d'Uranium naturel enrichi (UOX)	10 700 tonnes
Oxyde d'Uranium de traitement enrichi (URE)	200 tonnes
Oxyde mixte Uranium - Plutonium (MOX)	700 tonnes

- combustibles du surgénérateur SUPERPHÉnix (RNR) : 115 tonnes sont actuellement entreposées, dont 75 constituent la part française de ce combustible. Sur ce tonnage, les assemblages neufs qui n'ont pu être chargés du fait de l'arrêt définitif du réacteur en 1997 représentent 60 tonnes

- combustibles de l'ancien réacteur EL4 de Brennilis, appartenant en part égale au CEA (voir paragraphe 4.5.6) et à EDF, pour 49 tonnes.

• Projections en 2010 et en 2020

Le stock de combustibles usés en attente de traitement (tableau 4.11) 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). A cet égard, la politique industrielle actuelle consiste à ne traiter que ce qui est directement recyclable dans les réacteurs existants. Elle conduit ainsi à ne pas envisager le traitement des combustibles de type particulier (MOX et URE) avant 2020, date jusqu'à laquelle le traitement des combustibles REP de type standard UOX devrait rester prioritaire. Jusqu'en 2020, les quantités de combustibles URE et MOX déchargées des réacteurs vont donc se cumuler en entreposage. Le devenir des combustibles EL4 et RNR, également entreposés, sera examiné en cohérence avec les précédents.



[Tableau 4.11] Combustibles usés en attente de traitement (en tonnes de métal lourd) en 2010 et 2020

	TONNES ENTREPOSEES EN 2010	TONNES ENTREPOSEES EN 2020
UNGG*	Néant	Néant
EL4 (part EDF)	25	25
RNR (SUPERPHÉNIX, part française)	75	75
Oxyde d'uranium naturel enrichi (UOX)* :		
- UOX1	0	0
- UOX2 et UOX3	11 250	10850
Oxyde d'uranium de traitement enrichi (URE)	350	700
Oxyde Mixte Uranium - Plutonium (MOX)	1 300	2 350

* On a utilisé les définitions suivantes :

- combustible UNGG : combustible à l'uranium naturel des réacteurs à graphite-gaz. Les combustibles UNGG d'EDF ont tous été traités (4 730 tonnes à Marcoule, 2 125 tonnes à La Hague). Les activités de recherche du CEA (voir § 4.5 et 4.10) ont également utilisé et fait traiter ce combustible
- combustible UOX1, UOX2 et UOX3 : combustibles à l'oxyde d'uranium (Réacteurs à Eau Pressurisée, REP) présentant des taux de combustion moyens respectifs de 33, 45 et 55 GW/t. Tous les UOX1 (8 000 tonnes) ayant été traités, ils ne figurent plus dans le tableau. Cette définition des combustibles UOX présente un caractère conventionnel, dans la mesure où le passage d'une gestion à une autre est progressif. Il s'agit donc de caractéristiques moyennes de combustibles, sur une certaine durée, et non de caractéristiques qui changeraient brutalement à une date donnée.

Piscine E, entreposage des combustibles usés.
Usine de traitement des combustibles usés COGEMA
La Hague



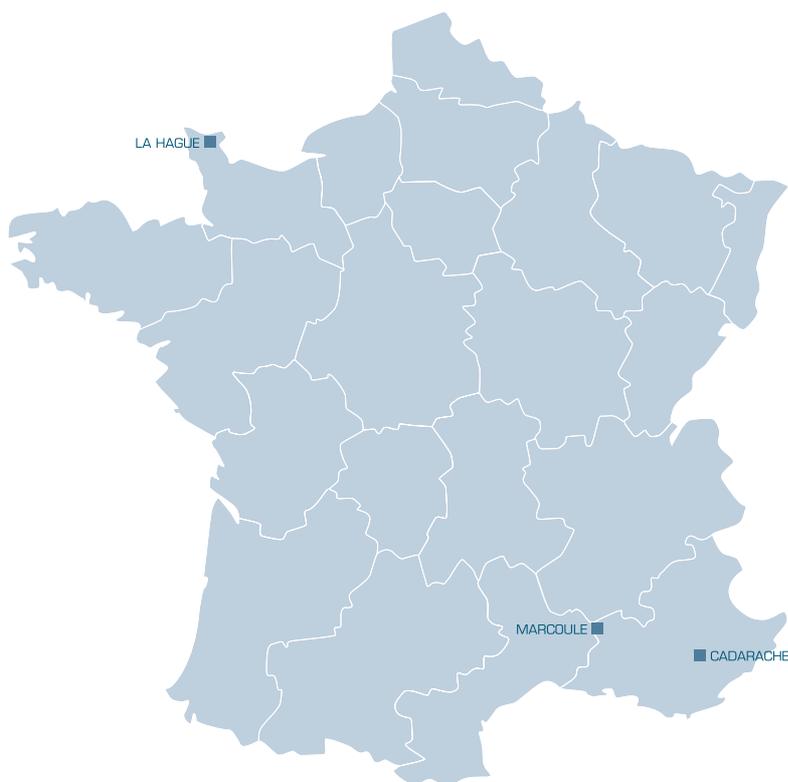
4.3

Aval du combustible
du cycle

Cette dénomination regroupe les activités de traitement des combustibles usés et de fabrication de combustibles utilisant

les matières issues du traitement, et concerne trois secteurs économiques : la Production électronucléaire, la Défense et la Recherche.

[Carte 4.3] Carte des établissements de l'aval du cycle du combustible



Colonnes pulsées COGEMA La Hague

4.3.1. [Description de l'activité]

Après son irradiation en réacteur nucléaire, le combustible usé contient toujours 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 valorisables d'une part, et à conditionner les déchets ultimes d'autre part.

Les opérations menées dans une usine de traitement peuvent se décomposer sommairement en trois étapes :

- réception et entreposage en piscines des assemblages combustibles usés avant traitement (pendant quelques années)

- traitement des assemblages combustibles usés par :
 - cisailage 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 à leur période radioactive.

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



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

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. Son exploitation par le CEA puis par COGEMA (à partir de 1976, date de sa création) s'est faite à des fins militaires (extraction du plutonium pour les armes) puis 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
- le démantèlement (ou déconstruction) des installations
- 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.

> 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 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 lors, 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, COGEMA 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.

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

Vue aérienne de l'usine de traitement des combustibles usés de COGEMA La Hague



Vue aérienne de l'usine COGEMA Marcoule



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

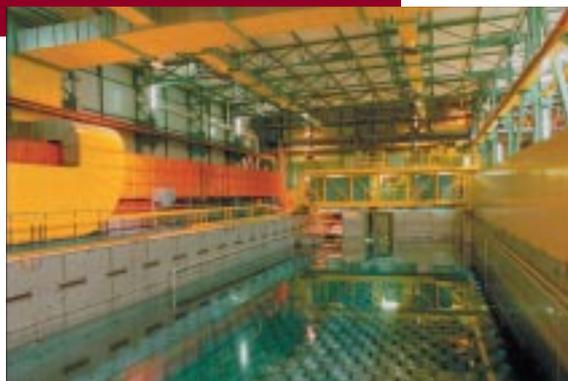




Contrôle des conteneurs de déchets vitrifiés dans l'atelier de vitrification R7. Usine de traitement des combustibles usés UP2 800 COGEMA La Hague



Piscine UP2 400, entreposage des embouts et coques COGEMA La Hague



Hall d'entreposage de l'atelier de vitrification R7. UP2 800 COGEMA La Hague



Coques et embouts. ACC : atelier de compactage, COGEMA La Hague



> 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 sur l'usine MELOX implantée sur le site de Marcoule. Les opérations d'assainissement commenceront prochainement, pour une durée de dix ans environ. L'usine MELOX a démarré en 1994. Sa capacité actuelle est de 145 tonnes de combustible MOX par an (masse de métal lourd), destinés aux réacteurs français et étrangers de la filière « eau légère ».

4.3.2. [Déchets produits]

Ce sont :

- les déchets directement issus des combustibles usés traités
- les déchets liés l'usage des installations de traitement ou à la fabrication de combustible MOX.

• 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, ceux-ci sont séparés de l'uranium et du plutonium, puis calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le verre est alors coulé dans un Conteneur standard de déchets vitrifiés (CSD-V), qui permet ainsi de conditionner la radioactivité sous forme compacte, durable et confinante. Ils constituent les déchets HA de l'Inventaire

> les déchets de structures 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 (2 275 m³) ont été conditionnés par cimentation en fûts métalliques de 1,5 m³.

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 graphites (de type FA-VL) et les gaines magnésium (principalement de catégorie MA-VL). Ils sont entreposés en attente de conditionnement.

• **Déchets liés à l'usage des installations de traitement**

Ils comprennent :

> **des déchets de maintenance** (outillages, gants de travail, matériels usagés) ou de traitement des eaux de piscines (résines), qui sont conditionnés dans différents types de conteneurs en fonction de leur nature, de leur niveau d'activité et de leur filière de stockage. Notamment :

- les déchets MA-VL, compactés (en colis CSD-C avec les coques et embouts) ou cimentés (mode de conditionnement courant avant le démarrage de l'Atelier de compactage ACC)
- les déchets FMA-VC, généralement compactés et cimentés, parfois incinérés ou fondus dans l'usine CENTRACO avant stockage au Centre de stockage FMA de l'Aube

- les déchets TFA, conditionnés dans des big-bags (terres et gravats), des fûts ou des caissons métalliques.

> **des résidus de maintenance.** Ces effluents sont décontaminés dans des stations de traitement (STEL à Marcoule, STE2 et STE3 à La Hague), et leur activité est concentrée dans des boues. Ces boues sont par la suite enrobées dans une matrice bitumineuse et conditionnées en fûts métalliques.

A La Hague, les boues de décontamination des effluents radioactifs produites entre 1966 et 1990 sont entreposées dans les silos de la station STE2. Depuis 1990, l'installation STE3 permet le bitumage des boues qu'elle produit. COGEMA prévoit d'utiliser également STE3 pour le conditionnement des boues de STE2.

Depuis 1995, COGEMA a mis en œuvre une nouvelle gestion des effluents, limitant très fortement la production de boues à conditionner par bitumage.

• **Déchets liés à l'usage des installations de fabrication du MOX**

Il s'agit de déchets de nature MA-VL ou FMA-VC, qui sont entreposés à Marcoule avec les déchets de l'usine UP1, à La Hague ou à Cadarache. Leur volume est négligeable devant celui des autres déchets.

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



Station de traitement des effluents STE3 Carroussel d'enfûtage COGEMA La Hague





4.3.3. [Scénario pour la période 2005-2020]

Le scénario retenu pour la période 2005-2020 repose 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 envisageable
- **Le traitement des combustibles MOX**, déjà entreposés (700 tML), n'est pas considéré avant 2020. D'ici 2020, le programme industriel actuel d'EDF prévoit en priorité le traitement des combustibles UOX (cf paragraphe 4.2.3).
- L'utilisation de **combustible à base d'uranium de traitement réenrichi (URT)** (cf. paragraphe 4.3.6) est supposée être limitée à deux recharges par an, même si l'extension de ce flux de recyclage est aujourd'hui envisagée par EDF qui en appréciera la pertinence en fonction des conditions économiques du moment.

Montée en puissance des opérations d'assainissement sur les sites de Marcoule, La Hague et Cadarache

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 2004, avec le volume de leur colis définitif.

• Sur le site de La Hague

En premier lieu, on mentionnera la vitrification prévue des solutions de produits de fission dites UM0 (uranium molybdène, issues du traitement 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 R&D 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 800 environ, pour un volume de 140 m³. La vitrification des solutions UM0 devrait débuter après 2010.

Des opérations de reprise et conditionnement des déchets anciens entreposés, majoritairement produits dans les années 1970-1980, sont prévues sur la période. COGEMA envisage

d'utiliser ses installations récentes (démarrées entre 1990 et 2002). 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 n°2 (STE2). Le conditionnement de référence pour les boues STE2 est le bitumage (c'est-à-dire l'enrobage des boues dans une matrice bitumineuse) en fûts inox de 240 litres, dans l'installation existante STE3. La reprise et le conditionnement des boues STE2, soumis à l'accord préalable de l'Autorité de sûreté, devrait durer une quinzaine d'années, compte tenu de la capacité de conditionnement actuelle de STE3. Les prochaines opérations de bitumage sont prévues fin 2005. Les colis de bitume représentent un volume de 7600 m³.

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 (couvertures, 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 un tri 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 MAVL de petites tailles (résines et fines) et de coques béton fibre cylindriques contenant des déchets technologiques de type FMA VC.

Le SOC (Stockage Organisé des Coques) est constitué de trois piscines dans lesquelles, depuis 1988, sont entreposées 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 conteneurs béton.

Le silo 115 contient trois cuves cylindriques de 400 m³. Ces cuves contiennent des déchets de structure directement issus des combustibles UNGG traités dans l'usine UP2-400 entre 1966 et 1974 (gainés en magnésium, chemises en graphite). Le silo 130 est une



casemate enterrée, composée de deux fosses de 3000 m³ 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. Le volume des déchets entreposés dans ce silo est d'environ 1300 m³.

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 2010 pour les déchets entreposés dans le silo HAO et dans le silo 130, à compter de 2015 pour ceux qui sont entreposés dans le SOC et après 2020 pour ceux qui sont entreposés dans le silo 115.

Le 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, graphite pulvérulent, 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.

La majorité des déchets sera conditionnée en 2020. Les dernières opérations devraient s'achever vers 2030. Certaines d'entre elles doivent au préalable faire l'objet d'un accord de l'Autorité de sûreté nucléaire.

A l'horizon 2020, les opérations d'assainissement des ateliers d'UP2-400 arrêtés seront en grande partie finalisées.

• Sur le site de Marcoule

Sur la période 2005-2020, les opérations d'assainissement du site se poursuivront. 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 regrouper l'ensemble dans deux entrepôts :

- l'entrepôt de l'AVM en puits pour les colis de déchets vitrifiés HA

- l'entrepôt modulaire construit spécifiquement pour ces opérations, l'EIP (Entreposage intermédiaire polyvalent), mis en service en 2000 pour les déchets MA-VL.

A Marcoule, les déchets de structure en magnésium (gaines de combustibles usés de type UNGG) sont entreposés dans 17 fosses. La stratégie pour le magnésium est un conditionnement en fût en acier. Les opérations de reprise de ces déchets n'ont pas encore débuté.

Les fûts de bitume produits par la Station de Traitement des Effluents Liquides (STEL) depuis son démarrage en 1966 sont entreposés dans les casemates en béton qui jouxtent la station de traitement des effluents liquides (STEL), pour 90% des fûts, ainsi que dans les fosses semi-enterrées de la Zone Nord du site dont ils sont progressivement extraits depuis 2000. Au 31 décembre 2004, 4184 colis contenant des fûts extraits des fosses de la Zone Nord étaient entreposés à l'EIP.

A 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.

• Usine de COGEMA Cadarache

Les opérations d'assainissement, qui débiteront dans les prochaines années, seront achevées à l'horizon 2020.

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





4.3.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

• Stocks de déchets au 31 décembre 2004

> Présents sur le site de La Hague

Le tableau 4.12 reprend pour différents types de colis issus

du traitement à l'usine de La Hague :

- le nombre de conteneurs présents au 31 décembre 2004
- le nombre de conteneurs que représentent les déchets en attente de conditionnement
- la part française de l'ensemble de ces déchets, le reste ayant vocation à être retourné aux clients étrangers de COGEMA (voir annexe 1).

[Tableau 4.12]

	Nombre total de colis entreposés au 31 décembre 2004	Estimation du nombre total de colis à produire au titre des déchets non conditionnés entreposés au 31 décembre 2004	Total	Estimation du nombre de colis à attribuer aux clients français au titre des combustibles usés traités avant le 31 décembre 2004	Volume correspondant
CSD-V (HA)	7 866	1 700	9 566	7 240	1 270 m³
CSD-C (MA-VL)	2 079	15 700 (*)	17 779	8 650	1 585 m³
Fût de bitume (MA-VL)	10 328	40 000 (**)	50 328	42 000	10 000 m³
Fûts de déchets cimentés (MA-VL)	5 170 (***)	1 800	6 970	6 970	8 700 m³

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

(**) Les 40 000 colis de boues bitumées correspondent à la reprise des boues de la station STE2. Les colis de boues bitumées déjà entreposées sont ceux de STE3.

(***) Les fûts de déchets cimentés existants prennent en compte les fûts de coques et embouts cimentés.

On obtient le stock total de déchets français relevant de l'aval du cycle, présent sur le site de La Hague en y ajoutant des déchets d'exploitation divers, conditionnés notamment en

coques béton, de type MA-VL, FMA-VC ou TFA, ainsi que les déchets graphites FA-VL (tableau 4.13).

[Tableau 4.13] Stocks présents sur le site de la Hague au 31 décembre 2004 en m³ équivalent conditionné

HA	1 270
MA-VL	21 035
FA-VL	2 907
FMA-VC total	150 391
TFA *	17 100

* Dans ce tableau et dans les suivants, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

> Présents sur le site de Marcoule (usine UP1)

On comptabilise ici (tableau 4.14) :

- les déchets vitrifiés HA entreposés à Marcoule, issus de l'atelier de vitrification
- les déchets d'exploitation de l'usine UP1
- les chemises graphites (FA-VL) entreposées à Marcoule
- les déchets issus des opérations d'assainissement et de RCD de Marcoule. En particulier pour les fûts d'enrobés bitumineux de Marcoule, l'inventaire a retenu l'hypothèse de

COGEMA, qui a déposé une demande de prise en charge d'une partie des fûts produits depuis 1966 susceptibles d'être stockés en surface (34 456 fûts sur un total de 60 587 fûts anciens, soit 42 200 m³ après conditionnement prévu pour le Centre de stockage FMA de l'Aube). Ce dossier est en cours d'étude par l'Andra. Sous cette hypothèse, le volume de colis de bitume compté MA-VL consiste en la part restante, soit de l'ordre de 10 100 m³.



[Tableau 4.14] Stocks présents sur le site de Marcoule au 31 décembre 2004 en m³ équivalent conditionné

HA	571
MA-VL	14 711
FA-VL	2 229
FMA-VC total	138 739
TFA	12 639

> Total

En ajoutant les deux tableaux précédents on obtient ainsi le total suivant, en m³ de déchets français relevant de l'aval du cycle : (Tableau 4.15)

[Tableau 4.15] Stock total de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

HA *	1 841
MA-VL	35 746
FA-VL	5 136
FMA-VC total	289 129
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	160 049
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	57 839
TFA	29 811
dont stockés au Centre TFA	164

* 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 2005-2020

> Pour les déchets directement issus du traitement des combustibles usés

Pour estimer les quantités de déchets directement issus des combustibles usés EDF traitées à La Hague, les hypothèses suivantes ont été retenues pour la période 2005-2020 :

- **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, 183 m³ de déchets de structure (MA-VL)** par tonne de combustible traité. Cette quantité moyenne correspond à la production de 1 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). Cette valeur est en cours de consolidation grâce au retour d'expérience de l'ACC, qui a démarré fin 2002

> Pour les déchets liés à l'usage des installations

- **1500 conteneurs bétons de type CBFC'2** (déchets MA-VL) sont supposés être produits, d'un volume de 1,18 m³, contenant des déchets liés à l'exploitation des installations. Sur la période 2005-2020, la production annuelle de CBFC'2 est amenée à diminuer



progressivement avec l'extension, prévue par COGEMA, du domaine de compactage à l'ACC pour ces déchets. A l'horizon 2020, elle devrait être de l'ordre de 20 CBFC'2/an (hors opérations de RCD, qui sont comptabilisées dans les stocks 2004)

- **800 conteneurs de type CSD-C** (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** par le traitement des effluents ont été supposées **négligeables** au regard du stock existant (quelques fûts par an sur la période)

- par hypothèse, la **production moyenne de déchets FMA-VC** liés à l'exploitation est d'environ **2 000 m³/an**.

L'ensemble permet d'identifier les volumes suivants : (Tableau 4.16)

[Tableau 4.16] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

Stocks cumulés	2010	2020
HA	2 501	3 601
MA-VL	38 192	42 257
FA-VL	5 136	5 136
FMA-VC	326 215	379 110
TFA	39 170	68 875

4.3.5. [Déchets au titre du démantèlement après 2020]

Ces déchets concernent les usines UP2 800 et UP3 de La Hague, MELOX, et la fin des démantèlements de Marcoule.

[Tableau 4.17] Déchets de démantèlement après 2020 en m³ équivalent conditionné

MA-VL	3 000
FMA-VC	50 000
TFA	45 000

4.3.6. [Matières valorisables]

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. 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 faible cours de l'uranium naturel sur le marché international ne favorise pas, pour l'instant, le recyclage de l'URT.

Le reste de l'uranium de traitement est entreposé sous différentes formes chimiques : oxyde d'uranium (U₃O₈), hexafluorure d'uranium (UF₆), ou sous forme de nitrate d'uranyle. Au 31 décembre 2004, 18 000 tonnes d'URT (en masse d'uranium), de propriété française, sont entreposées sur les sites de Pierrelatte (sous forme U₃O₈) et à Marcoule (sous forme de nitrate d'uranyle). La totalité de cet uranium a été séparée par le procédé de traitement des combustibles usés mis en œuvre à La Hague et à Marcoule, aussi bien pour la filière eau légère que UNGG, ce dernier représentant 9 200 tonnes sur le total de la part française. Il comprend à la fois celui issu des combustibles des premières centrales d'EDF (2 950 tonnes) et un stock appartenant à COGEMA et au CEA.



En supposant le maintien d'une stratégie de traitement de 850 tonnes de combustible EDF par an (soit 805 tonnes d'URT séparées par an) et de réutilisation de 280 tonnes d'URT en moyenne par an, le stock d'URT de propriété française devrait

s'accroître chaque année d'à peu près 525 tonnes. Avec ces hypothèses, il atteindrait ainsi environ 21 200 tonnes en 2010 et 26 400 tonnes en 2020 (tableau 4.18).

[Tableau 4.18] Uranium de traitement part française, propriété EDF, COGEMA, CEA

	2004	2010	2020
FILIERE URANIUM NATUREL GRAPHITE GAZ	9 200 TONNES	9 200 TONNES	9 200 TONNES
FILIERE REACTEURS A EAU PRESSURISEE	8 800 TONNES	12 000 TONNES	17 200 TONNES
TOTAL	18 000 TONNES	21 200 TONNES	26 400 TONNES

Au 31 décembre 2004, **78,5 tonnes de Pu** sont entreposées en France, dont :

- 50,7 tonnes de Pu séparé et entreposé à La Hague sous forme de PuO₂
- 12,7 tonnes de Pu présent à MELOX (Marcoule) et Cadarache dans le processus de fabrication de combustibles MOX (sous forme de PuO₂, d'oxyde mixte (U,Pu)O₂ ou encore en assemblages MOX finis)
- 12,8 tonnes de Pu en assemblage MOX non-irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF
- 2,3 tonnes de Pu séparé entreposé dans diverses installations

Sur ces 78,5 tonnes, **48,8 tonnes de Pu sont de propriété française** et le stock de Pu séparé d'EDF à La Hague correspond à 26 tonnes environ, soit 3 années de fabrication de combustible MOX.

Le plutonium contenu dans les combustibles usés n'est pas inclus (voir sous-chapitre 4.2) dans ce compte. Le stock de plutonium relevant des activités militaires (voir sous-chapitre 4.10) est couvert par le Secret défense.

Aux horizons 2010 et 2020, dans le scénario envisagé par l'Inventaire national, la quantité de plutonium séparé de propriété française restera globalement stable. En effet, le flux de plutonium introduit dans les combustibles MOX compensera celui du plutonium séparé par le traitement des combustibles UOX usés d'EDF.



Carrousel des boîtes de plutonium
Usine de fabrication de combustible MOX Melox
COGEMA
Bagnols-sur-Cèze



4.4

Etablissements 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 4.4] Carte des établissements de traitement des déchets ou de maintenance



Fût de résidus d'incinération cimenté



Lingot de fusion





4.4.1. [Description des activités et 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. A ce titre, elles produisent des déchets radioactifs. L'Andra utilise une partie des installations de SOCATRI pour entreposer des déchets à vie longue ne pouvant être accueillis sur ses centres de stockage, ou des déchets à vie courte en attente d'élimination à SOCODEI.

• 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 4.19) 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.

[Tableau 4.19] Centres de maintenance

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

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.

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, leur sont attribués par l'Inventaire.

4.4.3. [Scénario pour 2005-2020]

On suppose la continuité des traitements au rythme actuel (soit en moyenne, environ 1 150 m³/an de déchets FMA-VC et 200 m³/an de déchets TFA).



4.4.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Ces résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

[Tableau 4.20] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

FMA-VC total	12 621
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	3 079
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	7 064
TFA *	3 633
dont stockés au Centre TFA	31

* Dans ce tableau et dans le suivant, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

[Tableau 4.21] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

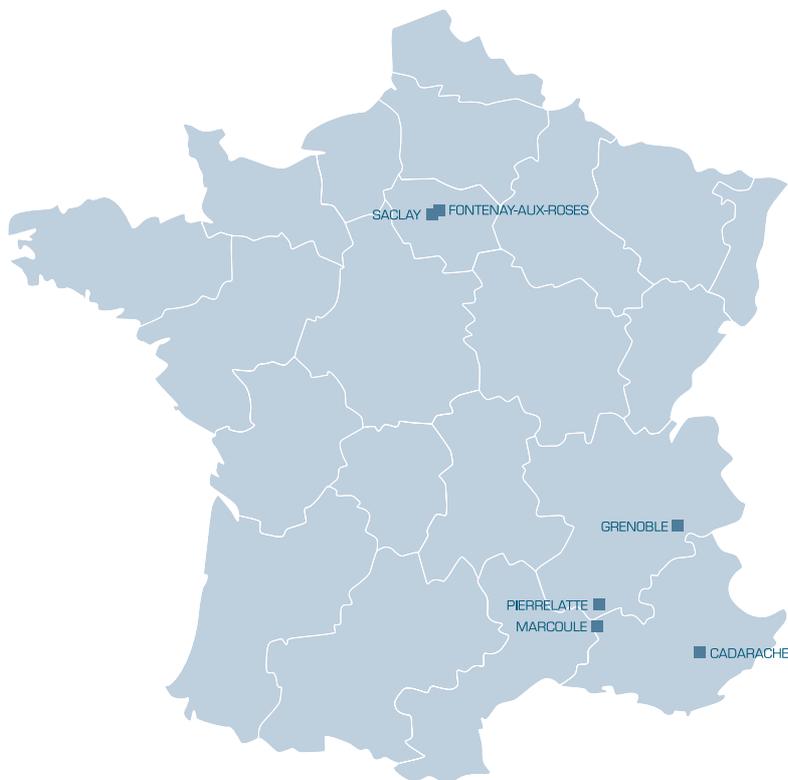
Stocks cumulés	2010	2020
FMA-VC	19 294	30 439
TFA	4 750	6 750



4.5 Centres d'études et de recherche du CEA civil

Cette catégorie regroupe les installations et les établissements des Centres d'études civils du Commissariat à l'Energie Atomique, 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.

[Carte 4.5] Carte des centres d'études et de recherche du CEA civil



Chaîne de vitrification à Atalante (Marcoule)



Déchets nucléaires entreposés à Cadarache



Entreposage de coques de 500 litres MA-VL - Cadarache





4.5.1. [Description des activités et sites]

• Activités

Le CEA a la charge de nombreux programmes d'études et procède aussi au démantèlement d'installations anciennes.

Dans le **domaine de l'électronucléaire**, le CEA poursuit des recherches pour prolonger la durée de vie des centrales existantes et définir de nouvelles filières de réacteurs.

Le CEA conduit aussi des études sur les **combustibles nucléaires** pour accroître leurs performances, étudier de nouveaux procédés d'enrichissement de l'uranium, ou améliorer et réduire la production de déchets et d'effluents.

Dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, il mène des recherches sur le **traitement**, le **comportement à long terme** et le **conditionnement des déchets**, ainsi que sur l'**entreposage de longue durée**.

Il poursuit également, dans un cadre international, des recherches sur la **fusion thermonucléaire** contrôlée, avec, pour objectif à très long terme, la production d'électricité (voir encadré).

De manière plus large, son champ de recherche inclut des activités en physique fondamentale, sciences du vivant, ou relevant de la haute technologie.

• 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 ses installations nucléaires induit des déchets similaires à ceux des autres exploitants nucléaires (déchets de maintenance, outils contaminés) mais d'une variété souvent plus étendue.



Assainissement du réacteur MELUSINE à Grenoble

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).

Le CEA procède aussi au démantèlement d'installations anciennes.

• Les Centres civils du CEA

> Fontenay-aux-Roses

Le CEA a décidé d'y arrêter toutes les installations nucléaires. Des programmes d'assainissement /démantèlement sont 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 avaient investi les domaines du génie chimique, du traitement des assemblages combustibles et de la chimie des éléments « transuraniens »

> Saclay

Les recherches fondamentales s'appuyant sur des moyens lourds (réacteur ORPHEE, pilotes EL1, EL2, EL3 de la filière uranium naturel graphite gaz, accélérateurs) et les recherches, appliquées aux besoins des productions industrielles, ont produit ou produisent toujours des déchets

> Grenoble

Le Centre d'études nucléaires de Grenoble dispose d'installations utilisées dans le cadre de ses recherches sur le développement de la filière électronucléaire (les réacteurs MELUSINE, SILOE et SILOETTE aujourd'hui arrêtés) et d'installations associées.

Un programme d'assainissement/démantèlement s'y conduit, en vue de la dénucléarisation progressive du site. Celui-ci se consacre désormais essentiellement à la recherche sur les nouvelles technologies de l'énergie, de la santé, de l'information

> Cadarache

Les activités de recherche et développement 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



ITER

UN OUTIL DE RECHERCHE POUR LA FUSION THERMONUCLÉAIRE CONTRÔLÉE

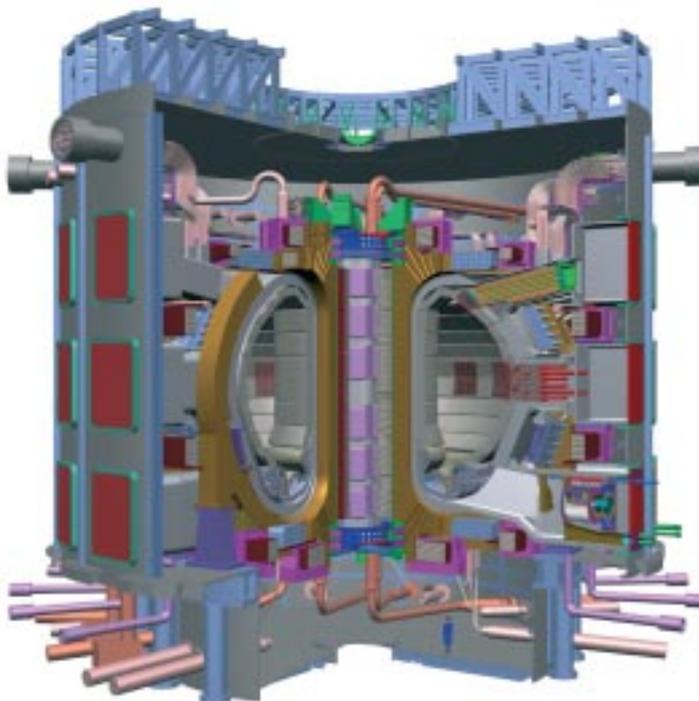
Dans le cadre du développement de la fusion thermonucléaire contrôlée, ITER va permettre de franchir une étape importante entre les machines actuelles et d'éventuels futurs réacteurs de production d'électricité basés sur la fusion, en apportant la démonstration de la faisabilité scientifique de ce procédé. 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 Etats-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.

La quantité de déchets produits en fonctionnement devrait être faible (de l'ordre de 750 tonnes de déchets MA-VL, FMA-VC et TFA). Les déchets produits après l'arrêt de la machine et lors de son démantèlement seront de même type ; la quantité approximative des déchets produits sera d'environ 33 000 tonnes.

Ces déchets présenteront une activité spécifique en tritium importante ; certains d'entre eux contiendront du béryllium.



> Pierrelatte et Marcoule

Les Centres de Pierrelatte et de Marcoule composent le complexe d'études de la Vallée du Rhône (Valrhône). Ses programmes de recherches concernent entre autres le conditionnement des déchets à vie longue et des combustibles usés (loi du 30 décembre 1991), la mise au point de procédés industriels de traitement du combustible plus performants, l'enrichissement du combustible ainsi que le démantèlement des installations arrêtées.

Le site de Marcoule était, à fin 2004, géré par COGEMA, qui y mène par ailleurs des opérations de démantèlement. La responsabilité du site a été transférée au CEA début 2005. Le site de Marcoule comporte le réacteur PHENIX, outil de recherche du CEA pour des programmes sur la transmutation des actinides. On comptabilise également

l'ancien réacteur G1 de Marcoule qui, bien qu'utilisé à des fins en partie militaires, est arrêté et sous la responsabilité du CEA civil.



Centrale PHENIX à Marcoule



4.5.2. [Déchets produits]

• HA

Les déchets HA conditionnés autrefois par le CEA dans ses installations propres sont d'un volume réduit, 10 m³. 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 de l'activité « Aval du cycle du combustible » (voir sous-chapitre 4.3), pour une fraction faible, de l'ordre d'un pour cent du total.

Fûts de 500 litres Cadarache



• 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 familles correspondant à des activités de recherche spécifiques, sur des volumes réduits (sulfate de plomb radifères du CEA...).

Coque béton



Fût de 870 litres de déchets cimentés



• 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.

Caisson métallique en cours de remplissage





4.5.3. [Scénario pour la période 2005-2020]

- L'inventaire répertorie les déchets prévisionnels inhérents aux différents programmes de Recherche, existants ou à initier. Il suppose leur continuité. 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 programmé la construction et la mise en œuvre de quatre nouvelles installations** pour le traitement et l'entreposage des déchets (voir encadrés) :
 - 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).

Deux de ces installations (CEDRA et STELLA) ont été autorisées par décret interministériel. Dans une phase préliminaire, le CEA a soumis pour les deux autres installations (AGATE et RJH), un dossier d'options de sûreté à l'Autorité de sûreté nucléaire qui n'a pas émis d'objection à la poursuite du processus d'autorisation de ces installations.

• 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 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 engendrer des déchets FMA-VC et MA-VL, pour un total estimé à ce jour à 4 400 m³.

On comptabilise également diverses opérations de reprise de déchets anciens dans les installations suivantes :

- INB (Installation nucléaire de base) 73 à Fontenay-aux-Roses : environ 150 m³ de déchets dans divers conditionnements, entreposés en puits et en alvéoles de décroissance et relevant pour la plupart de la catégorie MAVL, 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 reprises. 85% des fûts repris relèvent de la catégorie MAVL, 15% de la catégorie FMA VC. La reprise de ces déchets devrait s'achever fin 2010
- INB 22 (PEGASE) à Cadarache : environ 2700 fûts de 100 litres contenant des déchets contaminés seront traités et reconditionnés sur place puis envoyés en entreposage dans CEDRA (voir encadré) en catégorie MA-VL

Installation d'entreposage CEDRA (INB164) à Cadarache

CEDRA est une installation qui a été conçue pour permettre :

- de reprendre et traiter les déchets, contenant éventuellement des émetteurs alpha, existants et futurs du CEA avec l'objectif de réduire le volume de déchets à vie longue
- d'entreposer les déchets à vie longue jusqu'à la mise en œuvre d'une solution de gestion à long terme, et à ce titre de succéder à l'INB56 où sont actuellement entreposés les colis de déchets « MA-VL »

CEDRA disposera d'une capacité totale de 12 350 m³ (environ 18 000 colis). Au terme de 20 ans d'exploitation, les entrepôts seront remplis au 3/4 de leur capacité.

La construction des bâtiments de la première tranche (deux entrepôts pour 4450 m³ et un hall pour 825 m³) est en cours à mi 2005.

Un bâtiment dit "Intermédiaire" accueillera tous les déchets pour lesquels un traitement approprié reste encore à déterminer (déchets radifères non bloqués, blocs sources...).



Projet CEDRA - vue d'artiste



Chantier CEDRA (bâtiment MI) en mars 2005



- INB 72 à Saclay : environ 700 fûts de 60 litres de déchets technologiques compactés et de déchets divers seront reconditionnés. Plus de 90% d'entre eux relèvent de la catégorie MA-VL

- Cellule 213 à l'Atelier pilote de Marcoule : il s'agit essentiellement de déchets vitrifiés (204 conteneurs de 70 litres) qui relèvent de la catégorie HA et qui seront entreposés à l'AVM de Marcoule.

• **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 graphites (les empilements), de type FA-VL.

• **Les combustibles usés du CEA** sont considérés comme partiellement traités, à La Hague, à l'échéance 2020. Les réacteurs expérimentaux ont produit, et continuent à produire, 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. Mais l'usine de COGEMA Marcoule qui les traitait est à l'arrêt. L'intention du CEA est d'en faire traiter une partie, d'ici 2020, dans les installations de COGEMA La Hague, ces opérations étant soumises à l'Autorité de sûreté nucléaire avant d'être effectives (les déchets correspondant sont pris en compte dans le compte du sous-chapitre 4.3).

Par ailleurs, dans ce scénario de production de combustibles usés, le réacteur RJH (voir encadré) démarrera au cours de la décennie 2010-2020. Il produira un nouveau type de

RÉACTEUR JULES HOROWITZ (RJH)

Le RJH un nouveau réacteur (100MW) d'essai des matériaux et combustible

Les réacteurs de recherche sur le comportement des matériaux et combustibles sous irradiation sont utilisés en soutien aux réacteurs électrogènes (optimisation du fonctionnement et allongement de la durée, augmentation des performances du combustible et démonstration de sûreté associée) et pour les recherches sur les possibles réacteurs du futur (optimisations pour les réacteurs à hautes températures, développements pour des conceptions innovantes).

Le CEA prévoit une mise en service du réacteur RJH à l'horizon 2014. Ce réacteur reprendra, pour parties, les fonctions assurées par le réacteur OSIRIS actuellement en fonctionnement à Saclay.

Ce réacteur de 100 MW permettra de mener en parallèle une vingtaine d'expériences pour des clients européens et internationaux.

Le combustible du RJH devrait être entreposé dans l'installation avant d'être envoyé à l'usine de Cogema La Hague pour y être traité. Les déchets solides courants (moins d'une centaine de m³ 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.

combustible usé, à base d'uranium-molybdène.

Nota : Les combustibles usés du RJH ne sont pas comptabilisés dans les matières valorisables présentées au paragraphe 4.5.6

• **La production des déchets FMA-VC** liée à l'usage des installations existantes à fin 2004 est estimée à environ 1 200 m³/an.

Station de traitement des effluents liquides actifs STELLA à Saclay



La Station de Traitement des Effluents Liquides Actifs, STELLA, implantée au sein de l'INB 35 de Saclay, est une installation qui abritera de nouveaux équipements de traitement des effluents aqueux.

Avec une mise en service prévue en 2007, cette unité aura une capacité « d'équivalent traitement » de 3000 m³ par an et permettra, à terme, de « compléter » les autres installations de traitement d'effluents du CEA.



Par ailleurs, la mise en actif en 2005 de la nouvelle installation RESERVOIR, adjacente à STELLA, permettra d'améliorer la sûreté de l'entreposage des concentrats en stock dans les cuves anciennes de l'INB 35. De l'ordre de 400 m³ de concentrats seront transférés dans les dix prochaines années dans les cuves de RESERVOIR, pour être repris et conditionnés par le procédé d'enrobage de l'installation STELLA.



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, arrive 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.

La mise en service de l'installation AGATE est prévue à l'horizon 2011.

AGATE - Vue d'artiste - Bâtiments d'accueil et procédé



4.5.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Ces résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

[Tableau 4.22] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

HA	10
MA-VL	9 299
FA-VL	11
FMA-VC (total)	107 993
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	85 695
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	14 643
TFA *	45 636
dont stockés au centre TFA	7983

* Dans ce tableau et dans le suivant, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

[Tableau 4.23] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

Stocks cumulés	2010	2020
HA	10	10
MA-VL	10 455	11 535
FA-VL	11	4 121
FMA-VC	119 032	135 702
TFA	95 735	150 235



4.5.5. [Déchets au titre du démantèlement après 2020]

Le CEA a fait l'estimation suivante des déchets de démantèlement sur les 50 ans à venir couvrant une cinquantaine d'installations :

- 1 000 m³ de déchets MA-VL
- 24 000 m³ de déchets FMA-VC
- 120 000 m³ de déchets TFA.

4.5.6. [Matières valorisables]

Les combustibles irradiés issus des réacteurs expérimentaux du CEA prennent des formes variées (tableau 4.24), contrairement aux combustibles EDF, standardisés du fait de l'uniformité du parc électronucléaire.

Du fait du traitement du combustible d'anciens réacteurs, le CEA possède également un stock d'uranium (127 tonnes) et de plutonium (1,5 tonnes).

Nota : Les combustibles usés qui seront déchargés à terme par le réacteur RJH ne sont pas comptabilisés dans le tableau 4.24.

[Tableau 4.24] Combustibles usés du CEA civil

TYPE DE COMBUSTIBLE EXPERIMENTAL	NOM DU REACTEUR	TONNAGE EN 2004 (TONNES DE METAL LOURD)	DATE D'ENVOI A LA HAGUE (PREVUE PAR LE CEA)	TONNAGE EN 2010	TONNAGE EN 2020
URANIUM- ALUMINIUM	SCARABEE SILOE SILOETTE ORPHEE	1	2005 à 2012 (*)	0	0
URANIUM-SILICIURE	OSIRIS	2,3	2005 - 2015	1,2	0
RNR	PHENIX RAPSODIE	42	2007 - 2012	17	0
GRAPHITES - GAZ	EL1, EL2, EL3 & G1	13		13	13
EAU LOURDE OXYDE	EL4 (**)	49		49	49
OXYDE CAMEL	OSIRIS	4		4	4
AUTRES	DIVERS	0,5		0,5	0,5

(*) 2005 à 2012 pour ORPHEE, les autres combustibles usés étant déjà présents à La Hague

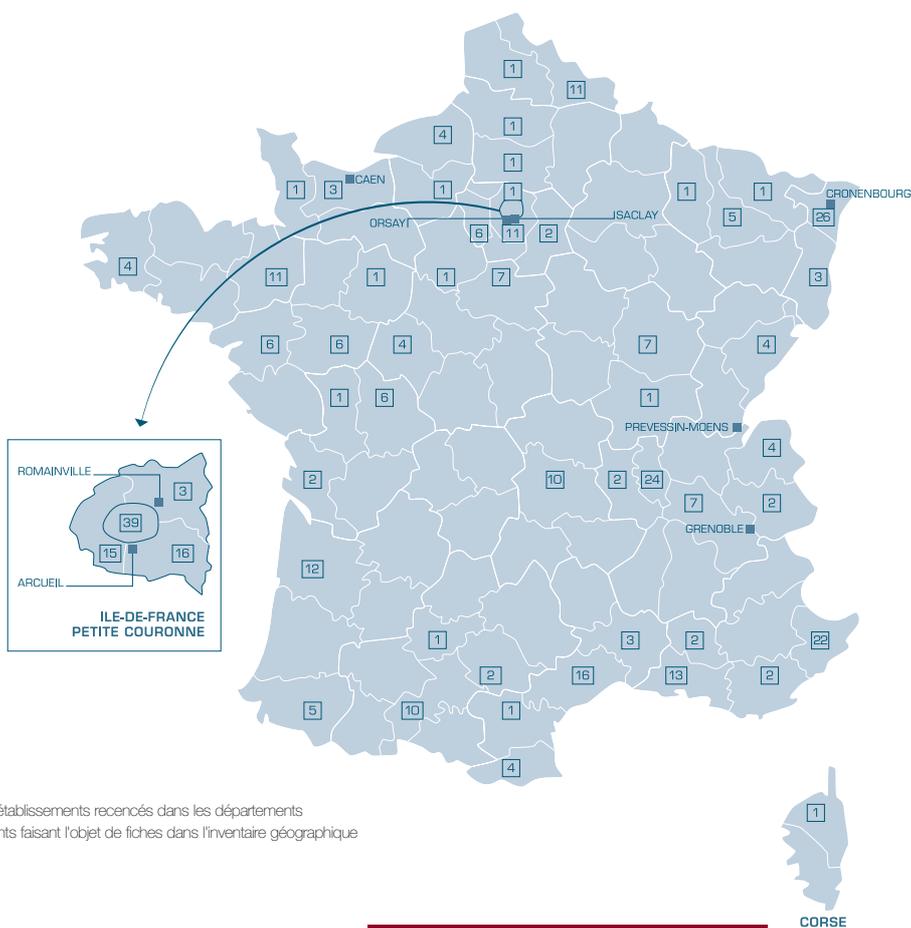
(**) : combustible de l'ancien réacteur EL4 de Brennilis, appartenant en parts égales au CEA et à EDF.



4.6 Etablissements de recherche (hors centres CEA)

Cette catégorie 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.

[Carte 4.6] Carte des établissements de recherche (hors centres CEA)



- Nombres d'établissements recensés dans les départements
- Établissements faisant l'objet de fiches dans l'inventaire géographique



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)



4.6.1. [Description des activités et sites]

De nombreux établissements publics ou privés utilisent des radionucléides. Globalement l'Andra a dénombré 362 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, implantés sur 58 sites
- des unités de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) recensées sur 10 sites, dont les accélérateurs de particules d'Orsay. Le réacteur de l'Institut Laue Langevin (ILL) à Grenoble et le Centre européen pour la recherche nucléaire (CERN), à la frontière franco-suisse, produisent et détiennent des déchets
- les laboratoires spécialisés de l'Institut national de recherche agronomique (INRA) : 37 établissements
- l'Etablissement français du sang (EFS), qui procède à des tests et analyses de biologie médicale (7 unités)
- les unités de l'Inserm, généralement hébergées au sein des hôpitaux, des CHU ou des Centres de lutte contre le cancer (75 unités recensés)
- 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, et 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 4.25 présente les radionucléides recensés dans le domaine de la Recherche.

4.6.3. [Scénario pour 2005-2020]

Pour ce secteur d'activité, le niveau de production actuel de déchets est supposé stable, à hauteur d'au plus 200 m³/an.

Cette prévision globale inclut aussi les déchets des établissements médicaux (voir sous-chapitre 4.7).



[Tableau 4.25] Radionucléides les plus couramment utilisés dans le domaine de la Recherche (selon déclarations des producteurs)

Radio-nucléides	Nom	Période radioactive	Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
³ H	TRITIUM	12,34 ans	¹⁰⁹ Cd	CADMIUM 109	1,27 ans
⁷ Be	BERYLLIUM 7	53,20 jours	¹¹¹ In	INDIUM 111	2,80 jours
¹¹ C	CARBONE 11	20,38 minutes	¹²³ I	IODE 123	13,21 heures
¹³ N	AZOTE 13	9,97 minutes	¹²⁵ Sb	ANTIMOINE 125	2,73 ans
¹⁴ C	CARBONE 14	5 730 ans	¹²⁵ I	IODE 125	59,90 jours
¹⁵ O	OXYGENE 15	2,04 minutes	¹³¹ I	IODE 131	8,02 jours
²² Na	SODIUM 22	2,6 ans	¹³³ Ba	BARYUM 133	10,5 ans
³² P	PHOSPHORE 32	14,28 jours	¹³⁴ Cs	CESIUM 134	2,06 ans
³³ P	PHOSPHORE 33	25,56 jours	¹³⁷ Cs	CESIUM 137	30,15 ans
³⁵ S	SOUFRE 35	87,44 jours	¹³⁹ Ce	CERIUM 139	137,64 jours
⁴⁵ Ca	CALCIUM 45	163 jours	¹⁴¹ Ce	CERIUM 141	32,50 jours
⁴⁶ Sc	SCANDIUM 46	83,81 jours	¹⁵² Eu	EUROPIUM 152	13,53 ans
⁵¹ Cr	CHROME 51	27,7 jours	¹⁵³ Gd	GADOLINIUM 153	241,8 jours
⁵⁴ Mn	MANGANESE 54	312,2 jours	¹⁵⁴ Eu	EUROPIUM 154	8,6 ans
⁵⁶ Co	COBALT 56	77,2 jours	^{166m} Ho	HOLMIUM 166m	1 200 ans
⁵⁷ Co	COBALT 57	271,77 jours	¹⁶⁹ Yb	YTTERBIUM 169	32,01 jours
⁵⁹ Fe	FER 59	44,51 jours	¹⁷⁰ Tm	THULIUM 170	128,60 jours
⁶⁰ Co	COBALT 60	5,27 ans	²⁰⁴ Tl	THALLIUM 204	3,8 ans
⁶⁵ Zn	ZINC 65	243,9 jours	²⁰⁷ Bi	BISMUTH 207	37,98 ans
⁶⁸ Ga	GALLIUM 68	1,13 heures	²⁰⁸ Po	POLONIUM 208	2,90 ans
⁷⁵ Se	SELENIUM 75	119,78 jours	²¹⁰ Po	POLONIUM 210	138,40 jours
⁸⁵ Sr	STRONTIUM 85	64,85 jours	²¹³ Bi	BISMUTH 213	45,59 minutes
⁸⁶ Rb	RUBIDIUM 86	18,64 jours	²²⁵ Ac	ACTINIUM 225	10,00 jours
⁸⁸ Y	YTTRIUM 88	160,60 jours	²²⁷ Ac	ACTINIUM 227	21,77 ans
⁹⁰ Sr	STRONTIUM 90	29,1 ans	²³¹ Pa	PROTACTINIUM 231	3,28.10 ⁴ ans
⁹⁵ Zr	ZIRCONIUM 95	63,98 jours	²³² U	URANIUM 232	69,8 ans
⁹⁵ Nb	NIOBIUM 95	35,15 jours	²³³ Pa	PROTACTINIUM 233	27,00 jours
⁹⁹ Tc	TECHNETIUM 99	2,14.10 ⁵ ans	²³⁷ Np	NEPTUNIUM 237	2,14.10 ⁶ ans



4.6.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Au cours de l'année 2004, l'Andra a collecté 513 m³ de déchets issus de ces filières (dont 430 m³ de déchets FMA-VC et 83 m³ de déchets TFA). Ce chiffre inclut les activités de soin et de diagnostic (cf. sous-chapitre 4.7). Après leur compactage au Centre FMA de l'Aube des déchets FMA-VC, le volume total de ces déchets est de 328 m³.

[Tableau 4.26] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

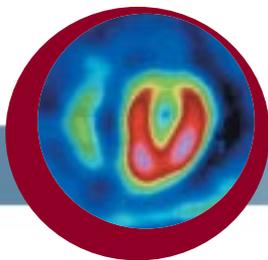
MA-VL	1
FA-VL *	26
FMA-VC (stockés ou non stockés)	12 658
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	10 000
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	2 089
TFA **	1074

* Il s'agit de déchets graphites et radifères divers attribués à la catégorie FA-VL, par précaution à ce stade.

** Dans ce tableau et dans le suivant, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

[Tableau 4.27] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

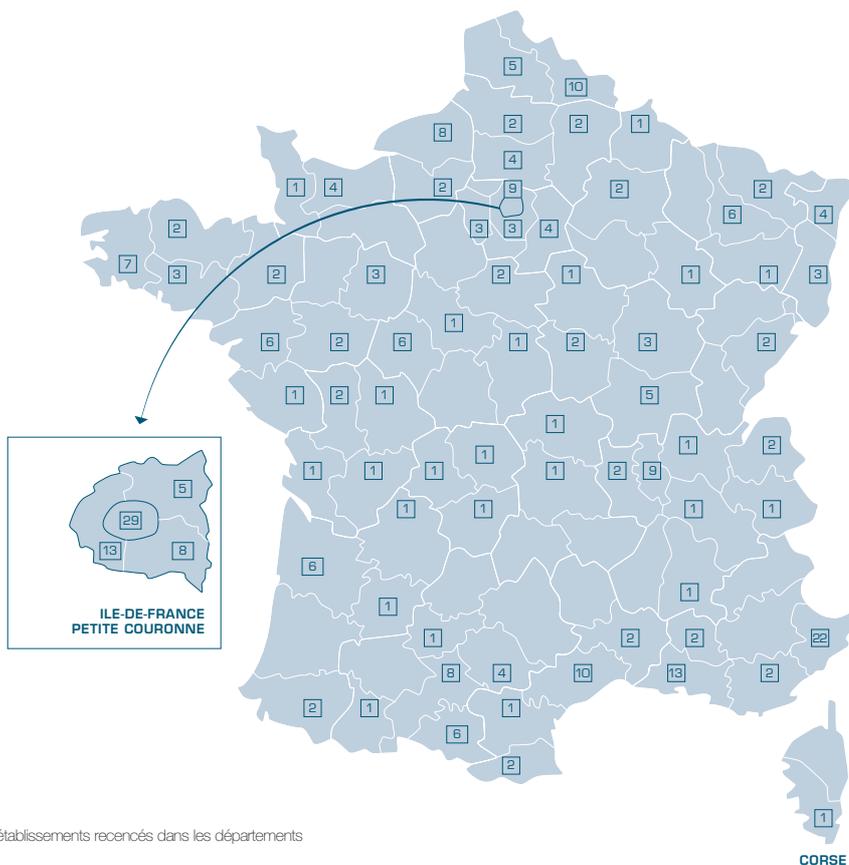
Stocks accumulés en 2010 et 2020	2010	2020
MA-VL	1	1
FA-VL	26	26
FMA-VC	13 753	15 593
TFA	1 480	1 980



4.7 Activités médicales :
diagnostic,
thérapeutique,
analyses

Cette catégorie 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 à la catégorie précédente.

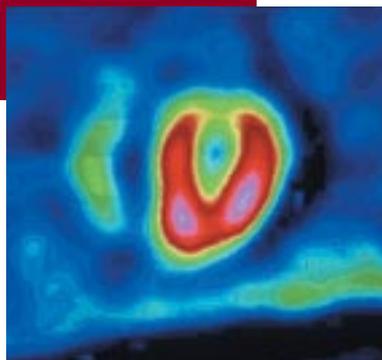
[Carte 4.7a] Carte des établissements conduisant des activités médicales



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 se déclinent ainsi :

- **les hôpitaux du service public ou les centres hospitaliers**, lorsqu'ils possèdent un service de médecine nucléaire (imagerie médicale et/ou thérapeutique) et des laboratoires de biologie
- **les cliniques ou hôpitaux privés** qui disposent d'unités internes (diagnostic ou thérapeutique) ou hébergent des unités externes (unités de radiothérapie)
- **les 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...)
- **les laboratoires d'analyses médicales**, spécialisés dans les analyses biologiques

- **les Centres de lutte contre le cancer (CLCC)**

Au nombre de 20 en France, 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 sollicite aussi de telles sources.

Domaines d'application

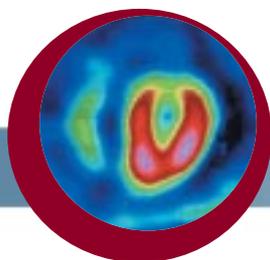
- **Les applications diagnostiques**

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, basées sur la chimie-luminescence, tendent à remplacer le recours aux radionucléides, par exemple pour des dosages hormonaux.

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 ou encore le gallium 67 (tableau 4.28).

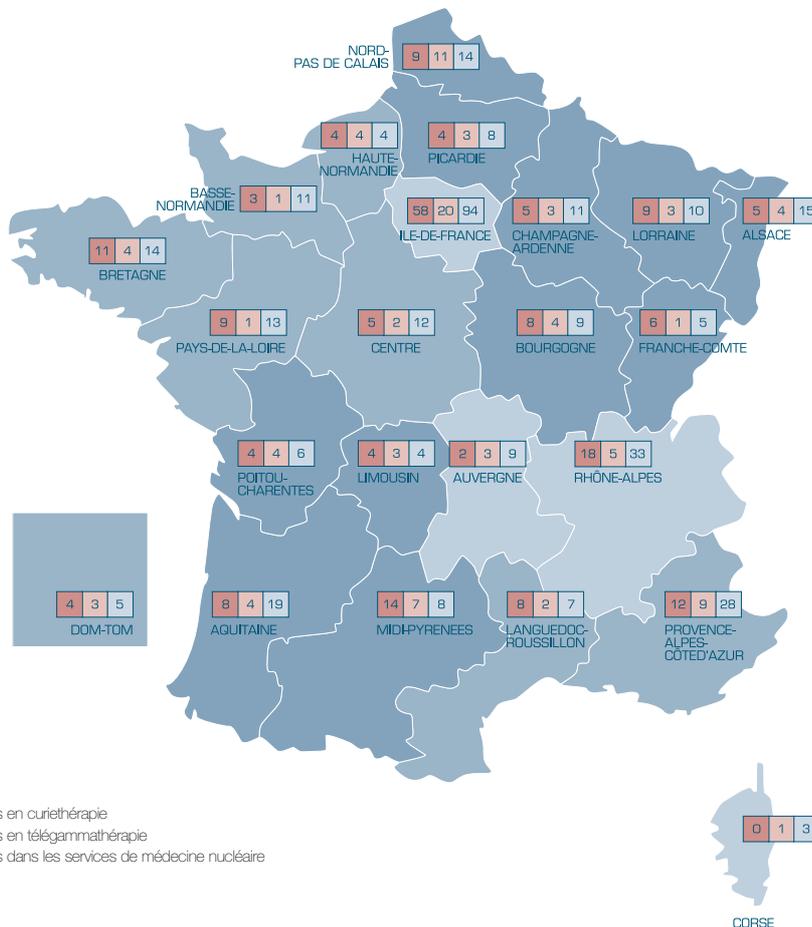
Les techniques de *tomographie* s'appuient sur les propriétés des rayonnements X ou gamma. Actuellement, la tomographie par émission de positons avec utilisation du fluor 18 se développe pour des applications en neurologie, cardiologie ou oncologie

• **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 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 ou de césium 137. En curiethérapie, le traitement de certains cancers de la prostate s'effectue par implants permanents d'iode 125 et, dans le domaine gynécologique, par application en interne

[Carte 4.7b] Répartition des principales autorisations de détention de sources dans le domaine médical



(source : IRSN 2005)



de grains de césium 137 insérés dans des tubes scellés. Les principaux radionucléides employés en curiethérapie, le césium 137 et l'iridium 192, ont définitivement remplacé le radium utilisé historiquement dans la première moitié du 20^e siècle sous forme d'aiguilles et de tubes. Leurs périodes radioactives sont, respectivement, de 30 ans et de 74 jours

• Les objets au radium

A 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 auprès des cabinets de radiologie, des cliniques, des centres anticancéreux et surtout 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 les objets récupérés depuis lors.

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). L'activité des *sources scellées* utilisées en radiothérapie est plus élevée, avec des périodes de plusieurs années. Ces sources 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 sont placés en attente de leur élimination après

décroissance de la radioactivité sur place. Ils s'éliminent alors 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). Du point de vue secteur économique, ces déchets sont regroupés avec ceux de la recherche médicale, décrits dans le 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 stockés pour décroissance sur place. Les *effluents non aqueux marqués* (liquide de scintillation) sont rassemblés à part et éliminés par l'Andra, qui les dirige vers l'incinérateur de CENTRACO (voir sous-chapitre 4.4).

Au 31 août 2005, les autorisations de détention de sources scellées ou non scellées délivrées dans le domaine médical (voir carte 4.7b), correspondaient à 677 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. Le recensement effectué par l'Andra ne concerne que les unités utilisant des sources non scellées et produisant des déchets : 278 unités ont répondu à l'enquête dans le cadre de cet Inventaire national.

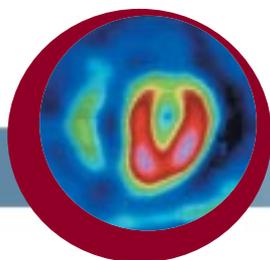
4.7.3. [Scénario pour 2005-2020]

La médecine utilise des sources non scellées similaires à celles utilisées par les établissements de recherche (cf. sous-chapitre 4.6) et des sources scellées gérées par leurs fabricants (cf. sous-chapitre 4.8). L'Inventaire a donc réparti les productions de déchets de cette activité au sein des sous-chapitres correspondants. Le scénario retenu présuppose la continuité des pratiques actuelles.

Hypothèse concernant les objets qui ne sont plus fabriqués

• **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.



[Tableau 4.28] Radionucléides utilisés dans le domaine médical (classés par nombre de masse croissant) avec indication de leur période radioactive (*)

Radio-nucléides	Nom	radioactive Période	Radio-nucléides	Nom	Période radioactive
¹¹ C	CARBONE 11	20,38 minutes	⁹⁹ Mo	MOLYBDENE 99	2,75 jours
¹³ N	AZOTE 13	9,97 minutes	⁹⁹ Tc	TECHNETIUM 99m	6,01 heures
¹⁵ O	OXYGENE 15	2,04 minutes	¹¹¹ In	INDIUM 111	2,80 jours
¹⁸ F	FLUOR 18	1,83 heures	¹¹³ In	INDIUM 113m	1,66 heures
³² P	PHOSPHORE 32	14,28 jours	¹²³ I	IODE 123	13,21 heures
⁵¹ Cr	CHROME 51	27,7 jours	¹²⁵ I	IODE 125	59,90 jours
⁵⁷ Co	COBALT 57	271,77 jours	¹³¹ I	IODE 131	8,02 jours
⁵⁸ Co	COBALT 58	70,78 jours	¹³³ Xe	XENON 133	5,24 jours
⁶⁷ Ga	GALLIUM 67	3,26 jours	¹³⁷ Cs	CESIUM 137	30,15 années
⁶⁸ Ga	GALLIUM 68	1,13 heures	¹⁵³ Sm	SAMARIUM 153	1,95 jours
⁶⁹ Ge	GERMANIUM 69	270,82 jours	¹⁶⁹ Er	ERBIUM 169	9,40 jours
⁸¹ Kr	KRYPTON 81m	12,8 secondes	¹⁸⁶ Re	RHENIUM 186	3,77 jours
⁸¹ Rb	RUBIDIUM 81	4,58 heures	¹⁹² Ir	IRIDIUM 192	73,83 jours
⁸⁸ Y	YTTRIUM 88	160,60 jours	²⁰¹ Tl	THALLIUM 201	3,04 jours
⁸⁹ Sr	STRONTIUM 89	50,65 jours	²¹³ Bi	BISMUTH 213	45,59 minutes
⁹⁰ Y	YTTRIUM 90	2,67 jours	²²⁵ Ac	ACTINIUM 225	10,00 jours

Source (*) : Base de données JEF 2.2 (OCDE-AEN)

[Tableau 4.29] Nombre et diversité des activités utilisant des rayonnements ionisants

ACTIVITE	NOMBRE	
	Secteur privé	Secteur public ou assimilé
Installations de radiodiagnostic médical	9 737	6 364
Radiodiagnostic dentaire	33 859	881
Installations de radiothérapie externe : accélérateurs de particules	305	
Unités de curiethérapie	57	67
Unités de médecine nucléaire	105	184
Irradiateurs de produits sanguins (sources au Cs 137)	40	

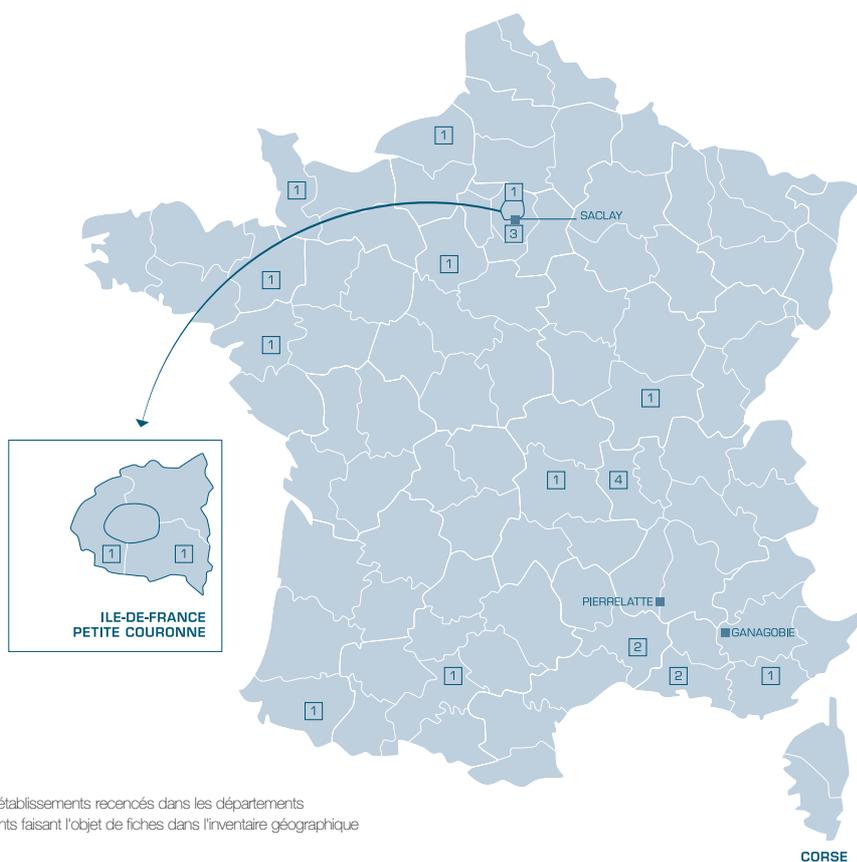
Source : DGSNR 2002

4.8

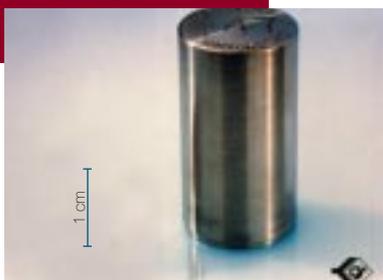
Activités industrielles diverses : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers

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 4.8a] Carte des établissements d'activités industrielles "diverses" : fabrication de sources, contrôle, objets particuliers



Jauge petits irradiateurs auto-protégés



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 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 3.700 kBq

> **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 août 2005, 179 autorisations de distribuer des sources scellées et non scellées, à usage industriel, étaient délivrées par les autorités compétentes (certains distributeurs pouvant disposer d'une autorisation



industrielle et d'une autorisation médicale) dont 14 pour des distributeurs résidant à l'étranger

Le retour vers le distributeur, 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 2005, près de 5000 autorisations de détention

de sources scellées ou non scellées étaient délivrées dans le secteur industriel (voir carte 4.8b) dont environ 4100 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).

Au 31 août 2005, les autorisations de détention du secteur industriel correspondaient à près de 21 000 sources scellées (d'activité supérieure au seuil de déclaration) ainsi qu'à environ 100 000 livraisons de sources non scellées par an (ce dernier chiffre prenant en compte les livraisons dans le domaine médical).

[Tableau 4.30] Principales utilisations des sources scellées

	NOMBRE D'ETABLISSEMENTS RECENSES * en 2004
Gammagraphie	147
Mesure de densité et de pesage	337
Mesure d'épaisseur	180
Mesure d'empoussièrement	79
Mesure de l'épaisseur des couches minces	23
Détermination du grammage	228
Mesure de niveau	348
Mesure d'humidité et de densité	278
Diagraphie	14
Elimination d'électricité statique	22
Détecteurs de fumée	2
Mise en œuvre de sources de neutrons	44
Analyse	87
Etalonnage	813
Enseignement	137
Recherche	19
Chromatographie en phase gazeuse	477
Détecteurs à capture d'électrons	56
Analyse par fluorescence X **	1643

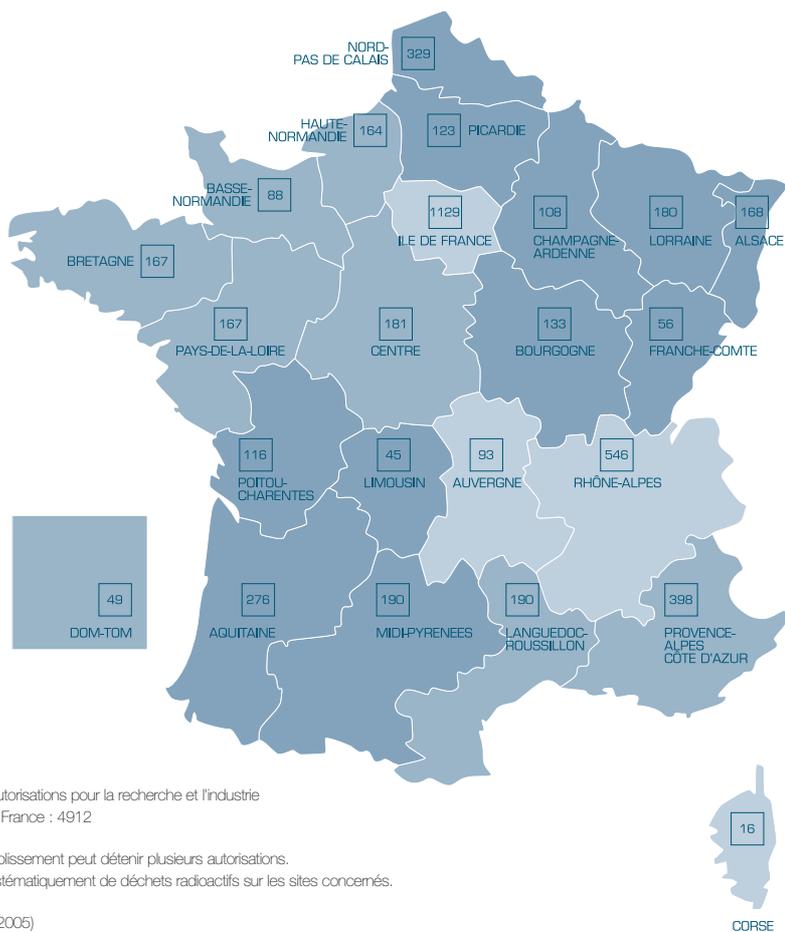
Source: IRSN 2005

* Un même établissement peut être recensé au titre de plusieurs utilisations.

** Les appareils d'analyse par fluorescence X permettent de détecter la présence de plomb dans les peintures (lutte contre le saturnisme). L'activité des sources utilisées dans ce domaine, cadmium 109 ou cobalt 60 est d'environ 400 MBq.



[Carte 4.8b] Répartition géographique des autorisations à détenir et à utiliser des sources radioactives scellées ou non scellées* (hors domaine médical)



Source pour irradiateurs industriels



Sources pour gammagraphie





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 mars 1980, 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. A 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'une certaine activité. Il ne tient pas compte des radioéléments naturels, dont le radium et le thorium, ni de l'ensemble des petites sources de calibrage et d'étalonnage des appareils de mesure, souvent non identifiées.

Les principaux fabricants et lieux d'entreposage en France

• Le Laboratoire étalons d'activités (LEA)

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 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 120 000 sources de toutes natures, correspondant à la récupération de sources scellées reprises par le CEA, au titre de son obligation de retour ou dans le cadre d'un service public offert pour des sources orphelines sur réquisition des Pouvoirs publics.

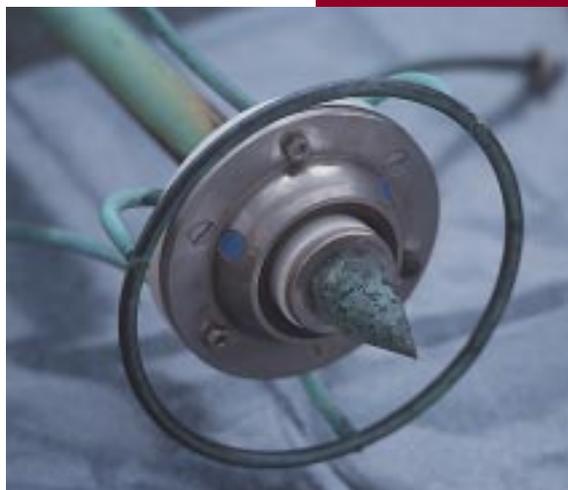
Les cas particuliers d'objets assimilés à des sources scellées usées

• 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 une dizaine d'entreprises professionnelles. (tableau 4.31)

Paratonnerre au radium





[Tableau 4.31] Liste des entreprises assurant le regroupement des paratonnerres

N° département	SITE (ETABLISSEMENT)
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 Equipement)
77	OZOIR LA FERRIERE (FRANKLIN France)
94	CHENNEVIERES/Marne (DUVAL MESSIEN)
95	PERSAN (ABB HELITA)

Source : Andra 2005

L'Andra collecte environ 600 têtes de paratonnerre 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 solution de gestion.

Les paratonnerres à l'américium 241 sont 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 6 500 têtes de paratonnerres dont 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 600 GBq.

L'activité de ces sources est très 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.

• 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, etc.) 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, Schering...)
- 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 (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.

Le décret 2002-460 du 4 avril 2002, dans son article R.43-47, interdit leur déclassement. Il impose 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'Autorité. Par ailleurs l'article R.231-84 du décret 2003-296 du 31 mars 2003, relatif à la protection des travailleurs, impose un contrôle périodique 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. A ce titre, un premier 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) 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. (tableaux 4.32 et 4.33)

[Tableau 4.32] Déchets de fabrication de sources au LEA en 2004

TYPE DE DECHETS	NATURE	FLUX ANNUEL	FILIERE
SOLIDES	Verrerie Plomb Résine	50 kg 50 kg 20 kg	Centre de stockage FMA de l'Aube
SOLIDES COMBUSTIBLES	Papier plastique Métal Verrerie	400 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 4 litres 5 litres	Centre de stockage FMA de l'Aube
MÉTAL (lié à la maintenance)	Métal	100 kg	CENTRACO (FUSION)

Source : LEA 2004



[Tableau 4.33] Déchets produits par des sources non conformes ou périmées au LEA en 2004

TYPE DE DECHETS	QUANTITE (en kg)	FILIERE
Résines et plastique	180	Incinération puis Centre de stockage FMA de l'Aube
Disque d'acier inox et de platine	50	Fusion puis Centre de stockage FMA de l'Aube
Verre et résine	5	Centre de stockage FMA de l'Aube
Anneaux en duralinox (résidus de descellement de sources)	100	Centre de stockage FMA de l'Aube
Résines et monazite	100	Centre de stockage FMA de l'Aube

Source : LEA 2004

4.8.3. [Scénario pour la période 2005-2020]

Le scénario retenu présuppose une diminution du marché français des sources à usage industriel. Plus spécifiquement :

EDF prévoit qu'environ 7 500 sources de toutes catégories ont été et seront utilisées durant la vie de ses sites industriels au cours de la période 2003-2020. L'activité concernée serait de l'ordre de 12 TBq, dont 11 TBq pour une centaine d'entre elles.

Le nombre de sources fabriquées et commercialisées par le **CEA** pour les besoins d'utilisateurs hors de ses Centres, et qu'il faudra reprendre, s'estime à 100 000 (dont 4 500 en cobalt 60 et 5 600 en césium 137).

Cis-Bio envisage la récupération de ses sources jusque vers 2020, avec un pic de retour vers 2010/2012.

La croissance de la production du **LEA**, de vocation internationale, devrait être régulière. Le LEA 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. 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, tout en réduisant jusqu'à zéro sur la même période de temps les nouvelles installations (800 000 détecteurs neufs sont actuellement importés et installés chaque année). 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 de 5 à 600 têtes par an. Ce flux annuel correspond à du radium pour les deux tiers et de l'américium pour le dernier tiers. Les paratonnerres au radium sont traités sur le Centre CEA de Cadarache pour représenter un entreposage d'environ 3 m³ par an. Les paratonnerres à l'américium sont entreposés en fûts sur la plate-forme de SOCATRI pour un volume annuel d'environ 10 m³.



4.8.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Ces résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

[Tableau 4.34] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

MA-VL	125
FA-VL	162
FMA-VC	6
TFA*	82

* Dans ce tableau et dans le suivant, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

Les 125 m³ de déchets MA-VL correspondent aux anciens colis de sources dont les caractéristiques ne permettaient pas le stockage au Centre de stockage de la Manche. Les 162 m³ de déchets FA-VL correspondent essentiellement aux volumes des conteneurs contenant les paratonnerres au radium et à l'américium.

[Tableau 4.35] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

Stocks cumulés	2010	2020
MA-VL	125	125
FA-VL	175	330
FMA-VC	6	6
TFA	85	85

Plus de 135 000 sources usées ont été recensées au 31 décembre 2004, essentiellement au CEA et particulièrement dans l'INB 72. Pour la plupart, leur période est plus longue que celle du césium 137, et presque toutes sont de faible activité. Pour les sources de faible activité, leur gestion représente quelques dizaines de colis ordinaires. Pour les sources de période courte mais d'activité plus élevée, leur gestion représente quelques dizaines de colis

renforcés du type coques béton. Les sources de forte activité pourraient faire l'objet de quelques colis relevant de la catégorie MA-VL.

Le tableau 4.36 récapitule les lieux et les quantités de sources scellées usagées, actuellement entreposées dans divers établissements, et déclarées au recensement de 2004.

[Tableau 4.36] Les sources scellées usées en France (principaux détenteurs)

ETABLISSEMENT	SITE	NOMBRE	REMARQUE
CEA/DAM	Valduc CESTA Bruyères-le-Châtel	660 178 1 700	
CEA civil	Saclay Fontenay-aux-Roses Saclay/CIS Bio	116 590 197 12 330	INB 72 INB 34, 57, 59 INB 29
CIS Bio	Saclay	4 596	INB 29
EDF	19 centrales	240 objets 1 200 sources	Grappes sources, étuis

Source : base de données Andra, recensement 2004



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 391 objets représentent une activité totale de 29 000 TBq en 2005 (tableau 4.37)

[Tableau 4.37] CEA : sources scellées usées de haute activité à vie courte et moyenne

RADIONUCLEIDE	NOMBRE	ACTIVITE (en 2005)
COBALT 60	173 étuis (plusieurs centaines de sources par étui) 102 objets	15 000 TBq
CESIUM 137	41	4 000 TBq
STRONTIUM 90	75	10 000 TBq

Source : CEA 2005

- des sources usées à vie longue, de faible activité. Elles sont évaluées à 123 000 objets pour une activité estimée à près de 8 000 TBq.

Le tableau 4.38 donne une vue de la typologie des sources usées à vie longue appartenant au CEA.

[Tableau 4.38] CEA : exemples de sources scellées usées à vie longue

RADIONUCLEIDE	NOMBRE DE SOURCES	ACTIVITE TOTALE ESTIMEE
Ra 226	25 171	1,8 TBq
Ac 227-Be	8	7,7 PBq
U 235	165	57 MBq
U 238	367	40 GBq
Pu 238	15 260	59 TBq
Pu 239	715	1 TBq
Pu 242	49	2 GBq
Am 241	80 497	0,4 TBq
Cm 244	187	17 GBq

Source : CEA 2005

4.8.5. [Déchets au titre du démantèlement après 2020]

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 valorisables]

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) permettrait d'accueillir des matières de certaines sources neutroniques. 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 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 4.9] Carte des principaux sites (anciens et actuels) de l'industrie non nucléaire utilisant des matériaux naturellement radioactifs ou des radionucléides



Usine Rhodia -
Fûts de déchets RRA





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. Il peut, dans certains cas, employer des matières premières minérales plus ou moins riches en radionucléides naturels et, éventuellement, concentrer involontairement la radioactivité dans les déchets, en mettant en œuvre un procédé qui a un autre but (chaleur, réaction chimique).

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**

A partir de minerais naturels d'ilménites et de rutilles (minéraux riches en oxyde de titane), l'industrie chimique extrait des pigments de coloration pour les peintures. Les activités initiales en thorium et en uranium peuvent être concentrées dans les effluents.

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 concernés 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 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.

Il s'agit essentiellement d'usines et d'ateliers dont les productions sont aujourd'hui arrêtées, à l'exception des cinq sites de La Rochelle, Le Pontet, Jarrie, Grand-Quevilly et Thann, en activité industrielle. 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 2005-2020]

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 se poursuivre plus systématiquement. La dispersion géographique des possibles producteurs de tels déchets et l'évolution de la réglementation, qui pourront 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 (cf. paragraphe 4.9.1).

(3) Elles ne couvrent pas la totalité des industries potentiellement productrices de déchets à radioactivité naturelle, renforcée ou non, décrites précédemment.

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 valorisables (cf. paragraphe 4.9.5). La quantité de déchets ultimes de type radifères FA-VL qui sera obtenue après traitement est à déterminer.

Dans le domaine de la **fabrication d'éponges de zirconium** pour l'industrie électronucléaire, l'usine **Cezus** à Jarrie devrait produire un flux de déchets radifères estimé à 240 m³ par an en moyenne sur la période 2005-2020.

En dehors de ces deux usines, l'estimation des quantités de déchets TFA et de déchets FA-VL (de type radifères) repose sur des hypothèses fragiles.

L'éventualité de recevoir 1 000 m³ de déchets TFA par an a été prise en compte. De même, 50 m³ par an de déchets FA-VL (de type radifères), en sus de ceux de Rhodia et de Cezus, ont été comptabilisés.

Usine Rhodia - Déchets FA-VL





[Tableau 4.39] Sites produisant ou ayant produit des déchets à radioactivité naturelle, renforcée ou non

PRODUCTION INDUSTRIELLE	MATIERE PREMIERE MISE EN OEUVRE	NOM DU SITE *		EXPLOITANT
		PRODUCTION ARRETEE	PRODUCTION ACTUELLE	
> 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 8 ^{ème} et 10 ^{ème}		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'Alhiermont (76) Wintzenheim (68) Beauchamp (95) Colombes (92) Paris 15 ^{ème}		Usine Bayard SPW Lumina Privé Privé
> Préparation et/ou extraction des terres rares	Sables à monazites ou bastnaésites	Boucau (64) Serquigny (27) Pargny-sur-Saulx (51) Thann (68)	La Rochelle (17)	Reno Atofina Orflam-Plast Thann et Mulhouse Rhodia
> Alliage au magnésium thorié	Thorium 232	Arudy (64)		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 Tessengerlo
> 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-Quevilly (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 rutilés et ilménites		Thann (68)	Millenium Chemicals
> 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 2004, 2010 et 2020]

Ces résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

[Tableau 4.40] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

FA-VL	17 285
FMA-VC (stockés ou non stockés)	14 268
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	14 268
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	0
TFA *	1 704

* Dans ce tableau et dans le suivant, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

[Tableau 4.41] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

Stocks cumulés	2010	2020
FA-VL	18 459	22 955
FMA-VC	14 268	14 268
TFA	7 680	17 680

4.9.5. [Matières valorisables]

Le thorium est considéré comme une matière valorisable, dans la mesure où il peut être utilisé dans diverses applications industrielles ; il présente également un potentiel énergétique. 11 000 tonnes de nitrate de thorium et 20 000 tonnes d'hydroxyde brut de thorium sont entreposées par Rhodia à La Rochelle, et 2 300 tonnes de nitrate de thorium par le CEA à Cadarache. Par ailleurs, les « matières en suspension » (MES) résultant de l'utilisation de matières premières issues de minerais de monazite et de bastnaésite,

(19 585 tonnes en 2004, 26 185 tonnes en 2010 et 37 185 tonnes en 2020) contiennent environ 25% de terres rares et sont, à ce titre, considérées par l'industriel comme matières valorisables.

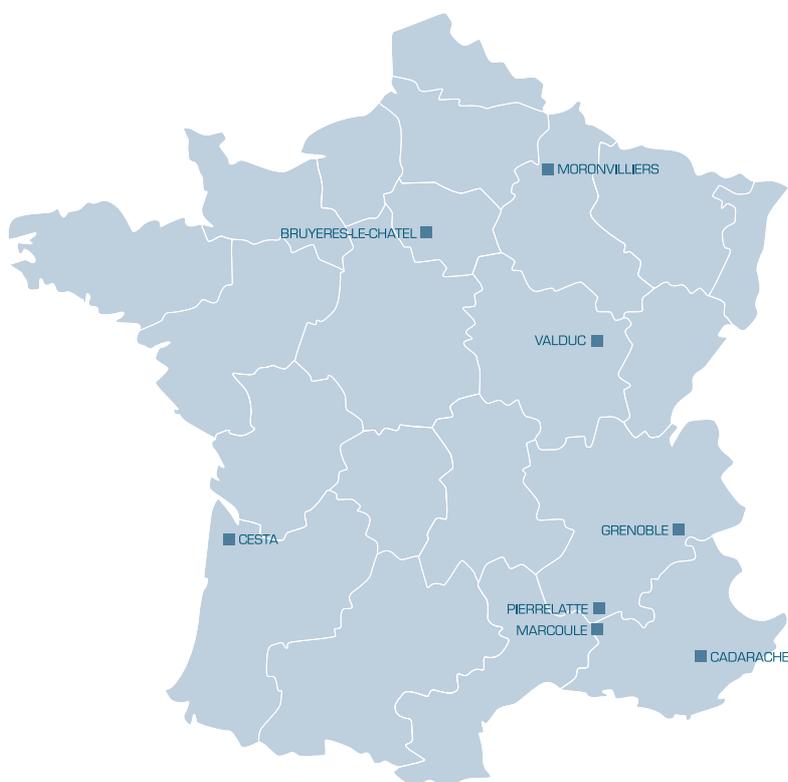
Concernant les phosphogypses stockés en terrils (> 25 millions de tonnes), des ateliers de valorisation ont traité cette « matière première secondaire » au début des années 1980 pour fabriquer des carreaux de plâtre destinés au bâtiment ; 1/3 de la production de phosphogypse de l'usine de Grand-Quevilly a ainsi été absorbé.



4.10 Centres d'études, de production ou d'expérimentation travaillant pour la Force de dissuasion

Cette catégorie regroupe les Centres de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA, et certaines activités de COGEMA. Elle concerne toutes les activités de la Force de dissuasion, ainsi que les installations de la Propulsion nucléaire installées à Cadarache.

[Carte 4.10] Carte des centres d'études, de production ou d'expérimentation travaillant pour la Force de dissuasion



Caissons métalliques en cours de stockage



Entreposage de déchets triés à Valduc



Caisson métallique contenant des déchets cimentés





Entrepôt de déchets tritiés à Valduc

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. Les sites concernés 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 très enrichi et tritium) et mène aussi des recherches sur les matériaux et l'optimisation des armes nucléaires.

Ses activités produisent des déchets contaminés, notamment par ces radionucléides (à hauteur de quelques centaines de m³ par an). En l'absence de filière de gestion disponible pour les déchets tritiés, les Centres du CEA qui en produisent utilisent les entrepôts du site de Valduc.

La mise en oeuvre et le recyclage du plutonium engendrent des déchets contenant de l'américium 241, provenant de la décroissance naturelle du plutonium 241

> Vaujourns (93)

Ce site militaire 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



Usine de Pierrelatte

contaminées par d'anciennes expériences employant de l'uranium appauvri et sont aujourd'hui terminées

> 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 du CEA. Des recherches y sont conduites. Des expérimentations en détonique y ont été menées, utilisant, pour certaines d'entre elles, de l'uranium sous forme appauvrie en isotope 235.

• Activités de COGEMA liées à la Force de dissuasion

> Marcoule (30)

Le site de Marcoule accueille les réacteurs CELESTIN et l'Atelier tritium, tous deux exploités par COGEMA pour le compte de la DAM, et assure la production de tritium. Cet élément entre dans la composition des armes. Comme il est à vie relativement courte (période 12,3 ans), il doit être régulièrement renouvelé

> Pierrelatte (26)

L'établissement de Pierrelatte, exploité par COGEMA, 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'Usine de Recyclage et d'Elaboration (URE) est utilisée dans le cadre de la fourniture de combustibles à usage militaire.

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).

• Butte de Pierrelatte

D'anciens déchets, provenant de la construction et du fonctionnement des installations de Pierrelatte, sont enfouis sur place dans une butte de stockage.

La butte contient quatre types de déchets :

- des barrières de diffusion provenant principalement des usines basses et moyennes, enfouies en 1967 et 1968
- des fluorines provenant de COMURHEX, enfouies de 1964 à 1977
- des boues riches en chrome enfouies en 1964 et 1965
- quelques déchets divers (filtres, ferrailles).

Une étude d'impact a été menée en 1998 et a montré que l'impact de la butte sur l'environnement est négligeable et



Réacteurs G2, G3 à Marcoule

ne nécessite pas d'actions urgentes. Les recommandations de l'étude sont prises en compte dans le cadre des opérations d'assainissement du site.

• Les installations arrêtées

Elles produisent des déchets selon leur calendrier d'assainissement et de déconstruction. Depuis 2004 le CEA assure la maîtrise d'ouvrage du démantèlement de :

> **l'usine UP1 à Marcoule (30)**, comptabilisée dans 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.

La DAM assure quant à elle, la maîtrise d'ouvrage du démantèlement :

> **des « usines basse, moyenne, haute et très haute » (activité) de Pierrelatte**

Parmi les autres installations recensées par l'Inventaire :

> les réacteurs G2, G3 à Marcoule

Dès la fin des années 1950, ils 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

> **des anciennes installations prototypes de chaudières de la société Technicatome à Cadarache (13)**

• **Autres installations travaillant pour le compte de la DAM**

> Limeil-Brévannes (94)

Les déchets de la société SODERN, contaminés en tritium, résultent de la fabrication de générateurs de neutrons pour le compte de la DAM

> **Installations de la Propulsion Navale à Cadarache**

Des réacteurs nucléaires d'essais de la propulsion navale s'y mettent au point et y sont exploités.

(4) L'Agence Internationale pour l'énergie atomique (AIEA) définit trois niveaux de démantèlement, selon l'état final de l'installation.



Déchets TFA tritiés

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, injectées et placées dans des fûts métalliques.

- **Déchets FMA-VC**

Les déchets FMA-VC du CEA/DAM sont en règle générale accueillis au Centre de stockage FMA de l'Aube. Un cas particulier est constitué par les déchets tritiés, qui ne peuvent être accueillis dans ce stockage car présentant un risque de marquage de l'environnement. Ils sont entreposés sur site, ce qui permet la décroissance du tritium.

Fût métallique de boues et concentrats cimentés





4.10.3. [Scénario pour 2005-2020]

Le scénario retenu prévoit le maintien du niveau de production actuelle. Il coïncide avec les perspectives de continuité de la Force de dissuasion nucléaire définies par le Président de la République en 1996.

Ainsi, les Centres placés sous la responsabilité du CEA/DAM produiront un volume de déchets radioactifs constant chaque année. La prévision inclut les opérations d'assainissement, de

démantèlement 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 (cf. sous-chapitre 4.3), se poursuivent.

4.10.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Ces résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

[Tableau 4.42] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

MA-VL	81
FMA-VC total (stockés ou non stockés)	26 374 avec tritiés
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	17 120
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	4 958
dont FMA-VC tritiés	2 095
TFA *	26 857
dont stockés au Centre TFA	2 176

* Dans ce tableau et dans les suivants, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

Quand des déchets vitrifiés HA ont été produits pour le compte de la Défense, ils l'ont été dans les installations de traitement du combustible de COGEMA. A ce titre, selon le mode de comptabilisation de l'Inventaire, ils sont rattachés

aux activités de traitement (cf. sous-chapitre 4.3). Cette remarque s'applique à l'ensemble des autres catégories ; ne sont comptabilisés ici que les déchets relevant stricto sensu des activités décrites dans ce sous-chapitre.

[Tableau 4.43] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

Stocks cumulés	2010	2020
MA-VL	81	81
FA-VL	0	720
FMA-VC	29 413	34 282
dont FMA-VC tritiés	2 575	3 329
TFA	47 639	56 809



4.10.5. [Déchets au titre du démantèlement après 2020]

Trois opérations principales de démantèlement se poursuivront au delà de 2020. Il s'agit :

- des réacteurs CELESTIN et de l'Atelier tritium de Marcoule
- du démantèlement des réacteurs G2 - G3 jusqu'au niveau 3 de l'AIEA
- du démantèlement de niveau 3 des Usines de diffusion gazeuse de Pierrelatte.

Pour ces trois ensembles, une évaluation des déchets produits a été réalisée (tableau 4.44).

Les déchets qui seront produits par le démantèlement des réacteurs à terre de la propulsion nucléaire n'ont pas été évalués. On peut considérer, dans une première approche, qu'ils produiraient une quantité équivalente à ceux des réacteurs CELESTIN (500 m³ de déchets FMA-VC et 3500 m³ de déchets TFA).

Les déchets issus du démantèlement des installations des centres DAM sont en cours d'évaluation.

[Tableau 4.44] Déchets de démantèlement après 2020 en m³ équivalent conditionné

FA-VL	5 100
FMA-VC	26 000
TFA	71 500

4.10.6. [Matières valorisables]

La Défense nationale utilise des combustibles pour les besoins des réacteurs de production de certaines matières (tritium notamment pour la fabrication d'armes nucléaires), ou les réacteurs d'essais et embarqués de la Propulsion navale nucléaire (voir sous-chapitre 4.11).

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 usés de la Défense sont aujourd'hui entreposés et leur avenir n'est pas décidé (stockage ou traitement).

Le stock de combustible usé de la Défense est estimé à 35 tonnes à fin 2004, 50 tonnes en 2010, 70 tonnes en 2020.

Les quantités de plutonium militaire et d'uranium enrichi sont couvertes par le Secret défense, tout comme celles de tritium.



4

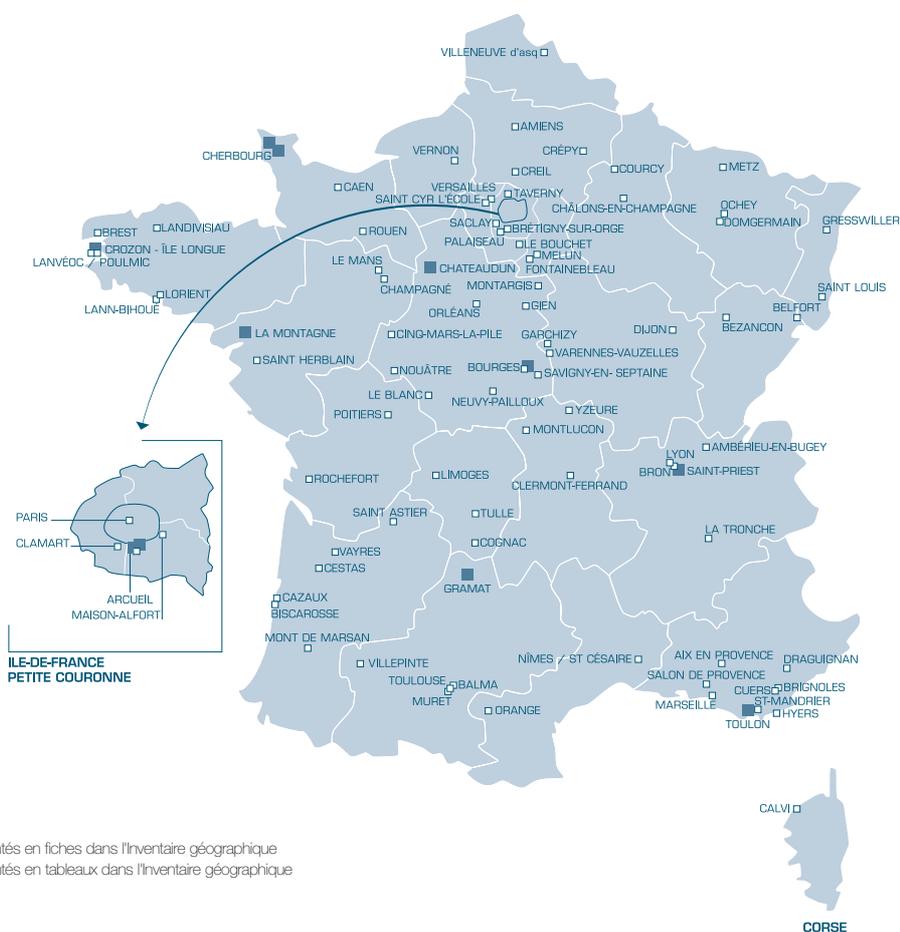
Inventaire par catégorie de producteurs

4.11

Etablissements de la Défense

Cette catégorie 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 chargé de la Défense ou qu'elles travaillent pour son compte.

[Carte 4.11] Carte des établissements de la Défense, DGA, SSA, Armées Terre/Air/Mer, Gendarmerie



Sous-marin « Le Redoutable »





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 par catégories 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/Île 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) fabrique des éléments des chaufferies nucléaires pour la flotte française en collaboration avec Technicatome. Les cœurs de réacteurs réformés sont entreposés à Cherbourg

Le Redoutable : découpe de la tranche réacteur





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

- **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 de Fangataufa, dans le Pacifique sud, sur le territoire de la Polynésie française.

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 mentionnée dans l'Inventaire géographique.

- > **Atoll de Mururoa**

Entre juillet 1966 et décembre 1995, la France a procédé sur cet atoll à 164 essais nucléaires et à 15 expériences de sécurité

(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.

- > **Atoll de Fangataufa**

La France y a effectué 4 essais atmosphériques entre septembre 1966 et août 1970, puis 12 essais souterrains à partir de juin 1975, jusqu'au dernier essai nucléaire français, le 27 janvier 1996.

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 4.45). 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/Île Longue et Toulon. Elle recense également quatre cœurs de réacteurs réformés, entreposés à Cherbourg.



[Tableau 4.45] 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) CHATEAUDUN (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) - SITE D'INDRET	Propulsion navale

4.11.3. [Scénario pour 2005-2020]

La production des déchets radioactifs des Armées est supposée se prolonger dans la continuité des pratiques actuelles.

4.11.4. [Résultats généraux pour 2004, 2010 et 2020]

Ces résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

[Tableau 4.46] Stocks de déchets à fin 2004 en m³ équivalent conditionné

FA-VL	401
FMA-VC (stockés ou non stockés)	12 606
dont stockés au Centre de stockage de la Manche	11 202
dont stockés au Centre de stockage de l'Aube	1 197
TFA *	842

* Dans ce tableau et dans le suivant, lorsque les déchets TFA sont déclarés en tonnes, les volumes correspondants sont calculés sur la base de ratios définis par l'Andra.

Stocks de déchets en 2010 et 2020

[Tableau 4.47] Stocks cumulés en 2010 et 2020 en m³ équivalent conditionné

Stocks cumulés	2010	2020
FA-VL	472	606
FMA-VC	13 282	14 408
TFA	1 245	1 640



4

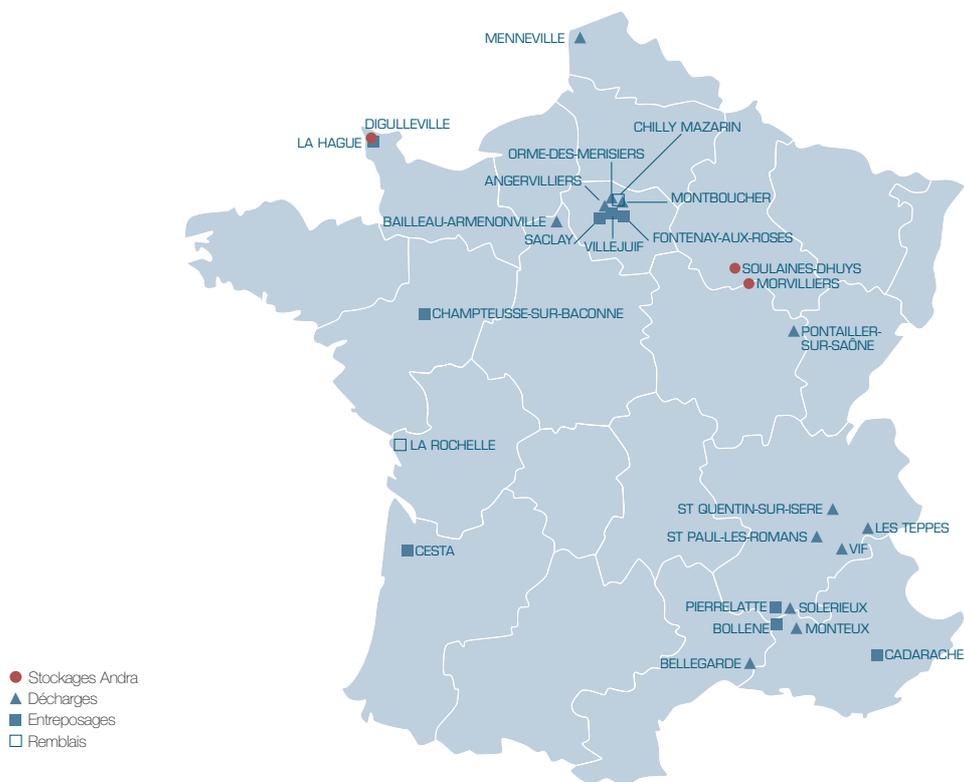
Inventaire par catégorie de producteurs

4.12

Entreposages, stockages

Cette catégorie inclut les Centres de stockage et d'entreposage de l'Andra, les entreposages de déchets non produits par l'organisme d'accueil, des décharges ou des sites comportant des produits divers - matériaux, ou remblais TFA.

[Carte 4.12] Carte des lieux d'entreposage et de stockage





Le point commun entre les différents sites évoqués dans ce sous-chapitre est qu'ils accueillent, provisoirement ou de manière définitive, des déchets produits par d'autres activités industrielles. Ils constituent ainsi des lieux de regroupement de déchets d'origines diverses.

C'est le cas par exemple de certains entreposages exploités par le CEA ou l'Andra pour accueillir des déchets radioactifs collectés chez des particuliers (telles que les aiguilles au radium ou les paratonnerres radioactifs). Par opposition, les entreposages dans lesquels les industriels gèrent leurs propres déchets en attente d'une solution définitive ne sont pas rappelés ici. Ainsi, par exemple, les entreposages de COGEMA à La Hague ou à Marcoule sont présentés au sous-chapitre 4.3.

Cette catégorie regroupe nécessairement 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 - généralement des centres d'enfouissement - conçues pour l'accueil de déchets classiques non radioactifs, qui ont pu recevoir par le passé, ou reçoivent encore, des déchets présentant des quantités très faibles de radioactivité.

Pour mémoire, la réglementation n'autorise aujourd'hui que la mise en décharge 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). En ce sens, ces déchets ne sont pas considérés comme radioactifs. Une circulaire ministérielle du 10 juin 2003 précise qu'un Centre d'enfouissement technique ne peut accueillir ce type de déchets qu'après la démonstration de l'absence d'impact d'une telle pratique.

Les quelques sites sur lesquels se trouvent de tels déchets sont en limite de l'Inventaire national, puisque les déchets qu'ils contiennent ne portent pas le qualificatif de « radioactifs ». L'Inventaire fait cependant le choix de les recenser et de les présenter, pour apporter au public une vue plus complète sur la gestion des déchets radioactifs, y compris ceux ne présentant que des traces de radioactivité. On notera que les déchets présentant une radioactivité d'origine artificielle, même à un niveau très faible, sont confiés à l'Andra.

Enfin, certains sites évoqués dans ce sous-chapitre concernent des pratiques anciennes qui ne sont plus jugées acceptables de nos jours. Il en va ainsi des sites d'immersion de déchets.

• **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 de COGEMA, à La Hague.

Exploité jusqu'en juin 1994, il a accueilli environ 527 000 m³ 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 a pris le relais du Centre de stockage de la Manche. Le concept du Centre consiste à isoler la radioactivité de l'environnement pendant le temps nécessaire à sa décroissance, jusqu'à un niveau sans risque pour la population.

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)

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. A la fin de l'exploitation du Centre, une membrane imperméable devrait les recouvrir, comme pour le Centre de la Manche.

Le Centre accueille des colis au rythme actuel d'environ 15 000 m³ par an et en a stocké 167 823 m³ au 31 décembre 2004. Avec une capacité d'un million de mètres cubes, il 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, etc.). Mais ceux-ci constituent un volume très faible. A titre d'exemple, l'exploitation du Centre FMA de l'Aube de l'Andra produit environ 50 m³ de déchets FMA-VC par an

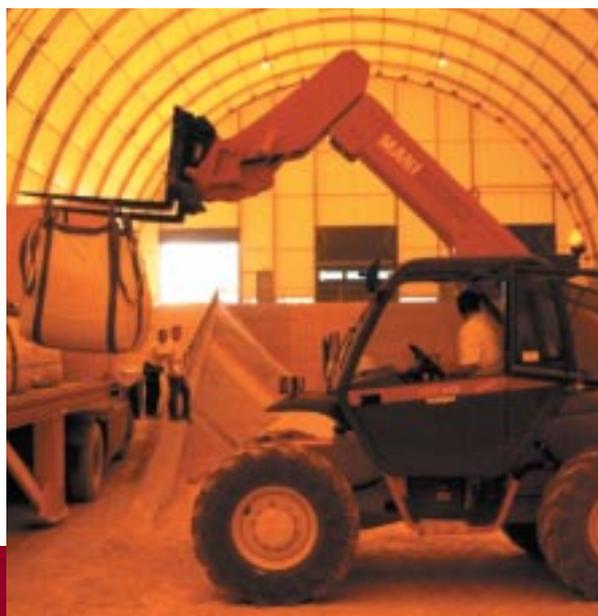
> Le Centre de stockage de déchets radioactifs de très faible activité (CSTFA)

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. 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). Il dispose d'une capacité d'accueil de 650 000 m³ et bénéficie de la proximité du Centre FMA. Au 31 décembre 2004, 16 644 m³ de colis étaient stockés sur le Centre TFA.

Les déchets y sont stockés dans des alvéoles creusées dans l'argile, et dont le fond peut recueillir d'éventuelles eaux infiltrées pendant toute la durée du stockage. Ils sont isolés de l'environnement, par un dispositif multibarrières. Associée à un système de contrôle, une membrane synthétique entoure les déchets tandis qu'une couche d'argile enveloppe le dessous et les flancs des alvéoles. Enfin, une couverture, elle-même en argile, sera disposée au-dessus des déchets.

Dans quelques dizaines d'années, l'activité des radionucléides à vie courte et moyenne aura fortement décliné. A long terme, les propriétés de rétention du site argileux assureront le confinement des radionucléides à vie longue et des substances chimiques.



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

> **Le Centre de regroupement Nord (CRN)**, implanté au sein du Centre d'études CEA de Saclay, regroupe des déchets provenant du secteur médical, de la Recherche et de l'Industrie.

- **Les zones d'entreposages de déchets sur des sites du CEA**

Pour des causes historiques et en raison de leurs compétences, **les Centres du CEA, essentiellement Saclay et Cadarache**, accueillent en entreposage des déchets divers qu'ils n'ont pas produits. Il s'agit de déchets dont les stockages restent à l'état de projet (déchets radifères et sources scellées usagées). Ainsi, près de 120 000 sources scellées (voir sous-chapitre 4.8), d'origines diverses, sont entreposées à 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 décharges et autres sites**

Des opérateurs autres que l'Andra gèrent plusieurs centres qui reçoivent ou ont reçu, régulièrement ou occasionnellement, des déchets comportant des traces de radioactivité qui avoisinent le plus souvent le Bq/g (Centre de stockage de déchets ultime - CSDU). On estime à environ 200 000 m³ le volume des déchets de ce type. Ces derniers ne sont pas considérés par les Pouvoirs publics comme des déchets radioactifs, puisqu'ils ont pu s'éliminer par une filière classique, dans les conditions de l'époque. Ces sites ne relèvent pas directement de l'Inventaire, mais sont cités ici pour mémoire.

Les déchets autrefois mis en décharge proviennent pour partie des Centres d'études du CEA (déchets de démantèlement, terres et gravats venant d'opérations d'assainissement diverses). Ceux qui entrent actuellement en décharge résultent de certaines industries non nucléaires (par exemple résidus de la production d'oxyde de zirconium par la Société européenne des produits

réfractaires dans le Vaucluse), ou d'entreprises et usines liées à la production du combustible nucléaire (essentiellement des boues fluorées de très faible activité).

Les principales décharges identifiées qui reçoivent, ou ont reçu, des déchets comportant de la radioactivité naturelle à des teneurs très faibles sont les suivantes : Bellegarde (30), Les Teppes (73), Menneville (62), Montboucher (91), Monteux (84), Saint-Paul-les-Romans (26), Solérieux (26), Saint-Quentin-sur-Isère (38), Vif (38). Certaines ont accepté jusqu'en 1992, après autorisation des Pouvoirs publics, des déchets de très faible activité issus de la Recherche ou de l'Industrie électronucléaire (présentant une radioactivité très inférieure à 1 Bq/g). Parmi elles : Angervilliers (91), Bailleau-Amenonville (28), Champteussè-sur-Baconne (49), Orme-des-Merisiers (91), Pontailleur-sur-Saône (21).

Ces décharges sont fermées, à l'exception de Bellegarde, Solérieux et Saint-Quentin-sur-Isère.

Quelques déchets TFA ont été mis en remblais dans le passé. Ceux qui sont issus du démantèlement de l'ancienne usine du Bouchet ont une teneur moyenne en radium et uranium comparable à celles rencontrées dans la nature (jusqu'à 3 Bq/g). Dans les années 1970, ils ont été utilisés sur le chantier de l'autoroute A87 à Chilly-Mazarin (91). Par ailleurs, des déchets issus de l'usine Rhodia Terres rares (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). La quantité estimée avoisine les 50 000 m³.

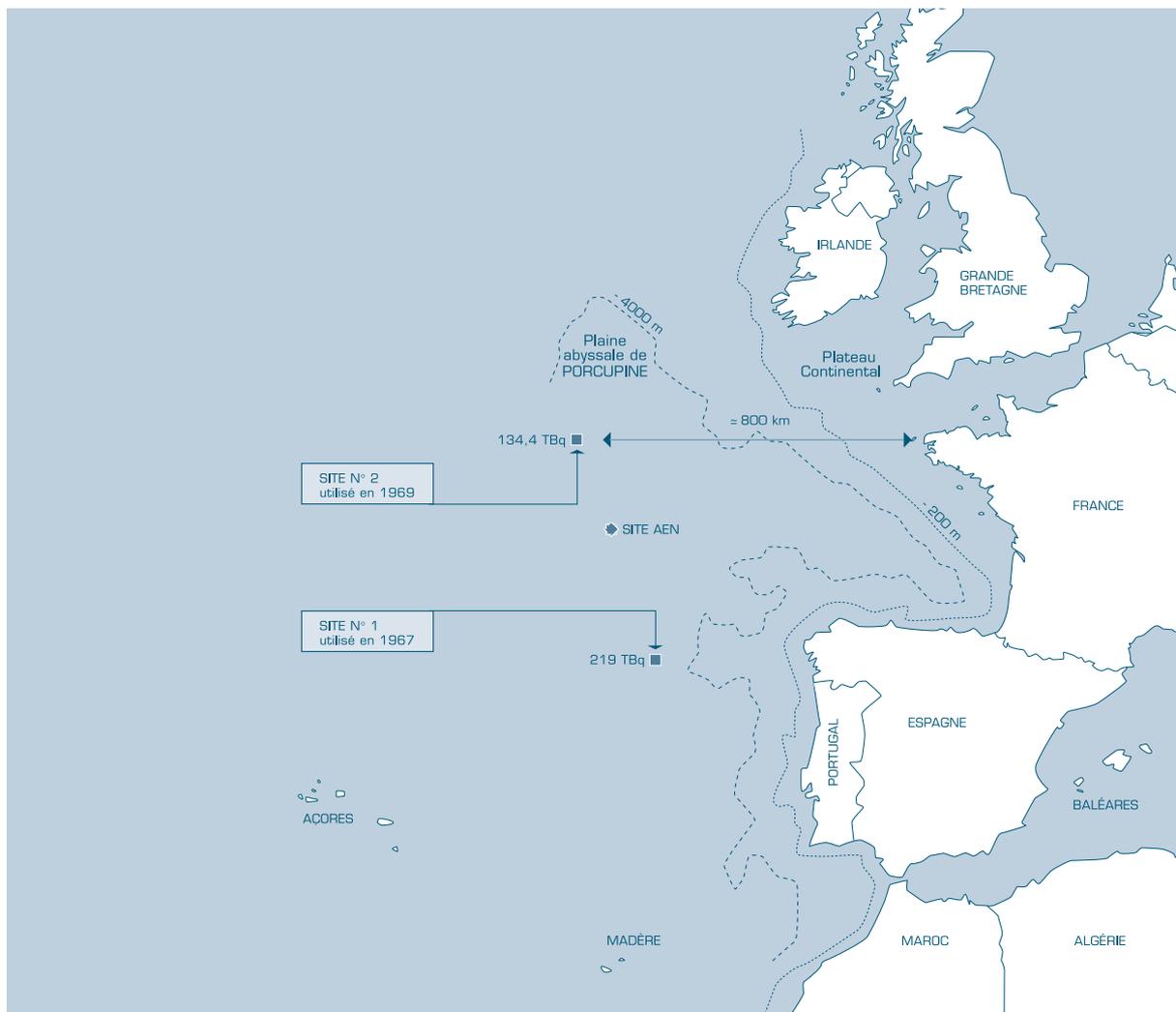
- **Les déchets immergés**

Il faut rappeler qu'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 4 000 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 14 200 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.

Aucun autre déchet radioactif français n'est immergé dans l'Atlantique depuis 1969.



[Carte 4.13] 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 / 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

5



Les sites pollués par la radioactivité



5

Les sites pollués par la radioactivité

5.1

Qu'est-ce qu'un site pollué par la radioactivité ?

La circulaire interministérielle du 16 mai 1997, relative à la procédure administrative applicable aux sites pollués par des substances radioactives, donne la définition suivante :

« *Un site pollué par des substances radioactives s'entend de tout site, abandonné ou en exploitation, sur lequel des substances radioactives, naturelles ou artificielles, ont été ou sont mises en œuvre ou entreposées dans des conditions telles que le site présente des risques pour la santé et l'environnement.* »

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, la protection de l'environnement ou la réutilisation présente ou prévue du site. La définition fait donc appel, explicitement, à la notion de risque sanitaire. La présence seule de radioactivité sur un site, qu'elle soit d'origine naturelle ou artificielle, ne signe donc pas une pollution en tant que telle.

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 envisagée du fait d'un risque faible. Les causes de marquage de l'environnement par des radioéléments peuvent être variées et sont dues aux activités industrielles ou artisanales menées sur site, ou à une contamination d'origine extérieure. Ces sites marqués sont connus et suivis par les Pouvoirs publics. Les sites pollués, par opposition, nécessitent une action de mise en sécurité. Les situations observées sur le terrain montrent qu'il existe un continuum entre un site marqué ou contaminé et un site pollué, la distinction relevant des Pouvoirs publics au vu des impacts évalués.

5.2

La stratégie pour la gestion des sites pollués

Les Pouvoirs publics se sont dotés d'une organisation pour traiter la question des sites pollués. La Direction de la prévention des pollutions et des risques au Ministère de l'écologie est responsable de la définition de la politique générale de l'Etat en matière de sites pollués, que ce soit par des contaminants chimiques ou radioactifs. L'Autorité de sûreté nucléaire 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.

Décontamination des anciennes usines Bayard à Saint-Nicolas-d'Aliermont





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 une évaluation du risque que le site présente pour la population. En effet, la politique des Pouvoirs publics est de traiter ou dépolluer un site donné en fonction de son impact sur les personnes et l'environnement dans le cadre de l'usage auquel ce site est destiné. 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. Cette évaluation est généralement pratiquée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) selon une méthodologie proposée dans un guide de gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives.

Quand un site est déclaré pollué par la radioactivité, un assainissement est généralement envisagé, soit à la demande du propriétaire du site, soit par les Pouvoirs publics. Il convient de noter que l'Etat n'intervient que pour la mise en sécurité des sites ; le réaménagement ou la réhabilitation concerne les collectivités locales ou le propriétaire du terrain. 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 recenser les sites qui ont fait ou pourront faire dans l'avenir l'objet d'opérations d'assainissement.

La circulaire des Ministres chargés du travail, de l'environnement et de l'industrie du 16 mai 1997 précise à l'intention des Préfets la procédure administrative applicable aux sites pollués par des substances radioactives. Elle leur permet notamment de déléguer à l'Andra, après diagnostic du site et définition des objectifs à atteindre, la maîtrise d'ouvrage des opérations d'assainissement.

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.

5.3

Les origines des pollutions radioactives : quelques exemples

Les causes qui peuvent conduire à la pollution d'un terrain 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)

Décontamination des anciennes usines Bayard à Saint-Nicolas-d'Aliermont





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.

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 XX^e 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. A 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 du Zaïre vint 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 plus extravagantes encore (« 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 40 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 luminescents 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'Aliemont (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 public au gaz, comme abrasifs ou pour diverses applications en métallurgie.

5.4

La méthodologie de recensement 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.

Ces « enquêtes historiques », conduites en collaboration avec l'Institut Curie, ont essentiellement porté sur l'industrie du radium. L'analyse des sources bibliographiques accessibles (archives industrielles, certificats de l'institut du radium, revues spécialisées du début des années 1900 portant mention des lieux de commercialisation) recoupée par des observations de terrain ou parfois par des témoignages d'anciens salariés, est un outil adapté pour retrouver des sites dont la mémoire collective s'est perdue et donc au besoin de recensement. De ce point de vue, l'Inventaire national s'efforce de collecter et de recouper le plus d'informations possible auprès de tous les acteurs intéressés, des administrations aux associations de protection de l'environnement. Outre les sites historiques effectivement pollués au radium répertoriés en Île-de-France (plus d'une dizaine dont plusieurs ont nécessité des mises en sécurité immédiate), plusieurs autres cas ne relevant pas d'une pollution par le radium ont aussi été signalés puis, après tous les recoupements nécessaires, recensés.

Le résultat des recherches historiques peut ainsi conduire à établir une liste de sites potentiellement contaminés communiquée aux autorités administratives pour qu'elles consolident les données recueillies (état actuel d'occupation du site : résidence, usine, friche... , disponibilité de plans précis, etc.). Ces recherches complémentaires, longues à mener, sont un préalable indispensable avant toute opération de mesure de radioactivité sur place décidée par les Pouvoirs publics.

Par ailleurs, les administrations chargées du contrôle des industriels dans tous les départements de France sont susceptibles de signaler à l'Andra tout nouveau cas de pollution dont elles auraient connaissance.

5.5

Inventaire des sites pollués par la radioactivité

Dans le tableau 5.1, est présentée une liste des sites pollués, 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 = 26 sites
- les sites assainis avec déchets entreposés sur place en attente d'enlèvement : B = 4 sites
- les sites assainis avec ou sans servitude : C = 22 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 complémentaires est décidé.

On trouvera dans l'Inventaire géographique des informations complémentaires sur les sites évoqués, dont 19 font l'objet de fiches détaillées.

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 au travers de l'inventaire BASOL (<http://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 2005-2020

A partir de la liste des sites répertoriés à ce jour et des études préliminaires, elles-mêmes tributaires du niveau d'assainissement qui sera requis par les Autorités, une estimation de production de 100 à 200 m³/an de déchets radioactifs (TFA et FA-VL, l'hypothèse de l'Inventaire était une répartition pour moitié entre ces deux catégories) a été émise pour les prochaines années. Cette estimation a été prolongée jusqu'en 2020 sous l'hypothèse que, dans la période considérée, de nouveaux sites soient découverts. Cette estimation est particulièrement fragile, car elle est très dépendante du type d'action qui serait décidé pour chaque site.



5

Les sites pollués par la radioactivité

[Tableau 5.1] Liste des sites pollués ou anciennement pollués

ENVIRONNEMENT	NOM DU SITE	ETAT FIN 2004	PROPRIETAIRE
> Terrain industriel en friche	<ul style="list-style-type: none"> Ganagobie (04) Pargny-sur-Saulx (bâtiments) (51) Pargny-sur-Saulx (berges) (51) Saint-Nicolas-d'Aliermont (76) Le Bouchet (ancienne INB) (91) 	<ul style="list-style-type: none"> A A C C A 	<ul style="list-style-type: none"> Isotopchim Orflam Plast Orflam Plast Bayard SNPE
> Terrain industriel partiellement ou totalement occupé par des installations en exploitation	<ul style="list-style-type: none"> Boucau (64) Colombes (92) Romainville (93) Beauchamp (95) Les Roches (38) La Rochelle (17) Serquigny (27) Saint-Nicolas-d'Aliermont (76) Besançon (25) La Roche de Rame (05) Pierrelatte (26) Wintzenheim (68) Valognes (50) Donges (44) Bonneuil-sur-Marne (94) Rogerville (76) Grand-Couronne (76) 	<ul style="list-style-type: none"> A A A C B C B C C C C B C C C B C 	<ul style="list-style-type: none"> Reno Sol essais Aventis Lumina Rhodia chimie Rhodia Electronics Atofina Couaillet Mauranne Lipp Planet Radiacontrol Jaz COGEMA Total Fina Elf Port autonome Port autonome du Havre Grande Paroisse
> Sites historiques liés à la production / mise en oeuvre de radium	<ul style="list-style-type: none"> Nogent-sur-Marne (94) Gif-sur-Yvette (91) Ile-Saint-Denis (93) Arcueil (94) Clichy (92) Aubervilliers (93) Paris 7^e Paris 8^e Paris 8^e Paris 8^e Paris 10^e Paris 16^e 	<ul style="list-style-type: none"> A A A A A A C C A C A A 	<ul style="list-style-type: none"> Groupe scolaire Lotissement Charvet + VNF Université de Paris VI Port autonome + DDE AFTRP adresse privée adresse privée adresse privée adresse privée adresse privée adresse privée
> Maison particulière ou propriété privée	<ul style="list-style-type: none"> Nogent-sur-Marne (94) Gif-sur-Yvette (91) Asnières (92) Bandol (83) Paris 15^e Colombes (92) Annemasse (74) Salagnac (33) Paris 14^e 	<ul style="list-style-type: none"> A A A A A C A C A 	<ul style="list-style-type: none"> Yab Federal Mogul adresse privée adresse privée adresse privée adresse privée adresse privée Cité de Clairvivre adresse privée
Terrain militaire	<ul style="list-style-type: none"> Arcueil (94) Vaujours (93) 	<ul style="list-style-type: none"> A C 	<ul style="list-style-type: none"> DGA CEA/DAM
Divers	<ul style="list-style-type: none"> Aubervilliers (93) Marseille (13) Marnaz (74) Gruissan (11) Le Bouchet-Ile verte (91) Opoul Perillos (66) Basse Ham (57) 	<ul style="list-style-type: none"> A A A C C C C 	<ul style="list-style-type: none"> Société Budin adresse privée adresse privée INRA CEA Mairie Ets Wittman

6



Exemples d'inventaires étrangers



6

Exemples d'inventaires étrangers

Ce chapitre décrit succinctement, sans prétendre à l'exhaustivité, les approches de quelques pays en matière de recensement de leurs déchets radioactifs. Cette plongée au cœur de démarches différentes a été enrichissante pour la méthodologie de l'Inventaire français des déchets radioactifs et des matières valorisables.

6.1

La Grande-Bretagne

L'expérience de Nirex en Grande-Bretagne s'impose d'emblée comme une référence et un cas d'école. Son premier Inventaire date du début des années 1980. De nombreux pays, dont la Suisse, la Belgique ou la France, s'en sont inspirés pour réaliser leurs propres Inventaires.

L'inventaire britannique souhaite fournir « *l'information la plus complète et la plus précise, disponible sur l'état des stocks de déchets existants et les prévisions de la production future* ». Sa publication se veut « *une facette de l'engagement continu de l'industrie nucléaire du Royaume-Uni et du Gouvernement en matière d'ouverture et de transparence dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs* ».

Révisé et réédité tous les trois ans, l'Inventaire britannique cible tous les utilisateurs, du grand public aux ministères.

Sa dernière version répertorie les stocks de déchets radioactifs au 1^{er} avril 2004 ainsi que les déchets futurs. Elle est disponible auprès de Nirex.

Le périmètre de l'Inventaire britannique intègre les Low Level Wastes, Intermediate Level Wastes, High Level Wastes (selon la classification britannique), mais ne prend pas en compte les matières valorisables, les Very Low Level Wastes et les rejets liquides ou gazeux.

6.2

La Suisse

Dans un contexte d'activité nucléaire relativement modeste, la Suisse, à travers la Cedra/Nagra, a fait le choix de réaliser un Inventaire de ses déchets dès 1984, pour les besoins de ses projets de stockage de déchets radioactifs.

Sous sa forme papier, il comporte deux volumes, un rapport principal de 110 pages et un recueil de fiches signalétiques de colis comptant 900 pages (version de 1994). Il est aussi disponible en CD-Rom. A ce jour, seules deux versions ont été produites, en 1984 et 1994. La prochaine édition est prévue pour 2006. Sous l'intitulé *Model inventory for Swiss waste disposal projects*, il cible au premier chef les organismes concernés par la gestion des déchets radioactifs. Le public peut néanmoins le commander. Sa méthodologie se rapproche de la démarche britannique, la périodicité exclue. Mais si le « modèle d'inventaire » helvétique se contente d'une révision tous les dix ans, la base de données des déchets s'actualise en continu.

Le périmètre est large mais sans les déchets TFA et matières valorisables.

6.3

La Belgique

Depuis 1992, l'Ondraf réalise et actualise tous les deux ans « l'Inventaire des flux » de déchets radioactifs provenant de toutes les installations de la Belgique.

Cette expérience relativement récente a pris une ampleur nouvelle avec l'arrêté royal du 12 décembre 1997.

Il précise et renouvelle la mission de l'Inventaire belge qui devient quinquennal (auparavant tous les deux ans) et plus ambitieux : répertoire de la localisation et de l'état de toutes les installations et de tous les sites contenant des substances radioactives, communication vers le grand public au travers du site Internet de l'ONDRAF, etc.

L'Inventaire des « passifs nucléaires » en constitue un axe innovant. Il s'agit de traduire l'Inventaire en termes financiers et de mettre au point une politique offrant les garanties budgétaires requises pour les opérations de déclasserement et d'assainissement, toutes installations confondues.



Le périmètre est large, sans les TFA. Il tient compte des matières valorisables à travers le recensement des « passifs nucléaires ».

Présentation de l'Inventaire belge par l'Ondraf lors du séminaire sur les Inventaires organisé par l'Andra en mars 2005



6.4

Les Etats-Unis

Réalisé par le DOE (*Department of Energy*), l'Inventaire américain est actualisé chaque année. Plus complet que d'autres homologues étrangers, il inclut toutes les activités à l'origine de 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 d'une « base de données centrale Internet ». L'utilisateur dispose de trois types d'interrogations, depuis le ready to read jusqu'au service sur mesure, le *user-defined report*.

Dans sa préface, le document indique que son objectif est l'obtention d'informations pour planifier les programmes et étayer les décisions du DOE. Il précise aussi que la communauté scientifique et une partie des citoyens le qualifient d'utile. Il encourage tout commentaire ou suggestion susceptible d'en améliorer la qualité ou d'en élargir le champ.

6.5

Les autres pays

6.5.1. [Allemagne]

Le BFS (Bureau fédéral pour les radiations) publie tous les ans un rapport officiel d'une trentaine de pages sur les déchets existants et à produire.

Le document distingue les déchets produisant de la chaleur des autres.

Il fournit une évaluation des capacités d'entreposage et décrit la situation des sites de stockage. Les prévisions, à horizons 2010 et 2080, se fondent sur deux scénarios de base.

Par ailleurs, l'Union des électriciens allemands réalise périodiquement le décompte des déchets existants conditionnés ainsi que des prévisions.

6.5.2. [Japon]

Chaque producteur doit recenser les déchets qui le concernent et la plupart met en ligne les informations le concernant.

6.5.3. [Espagne]

Le grand public n'a pas accès à l'Inventaire. Seules des informations globales et le plan de gestion des déchets radioactifs lui sont ouverts.

6.6

Les actions de l'Agence internationale de l'énergie atomique

L'AIEA, organisme dépendant des Nations Unies, tient à la disposition du public une base de données, appelée « NEWMDB ». Celle-ci comporte des informations sur les programmes de gestion des déchets radioactifs dans les différents états membres, ainsi que sur la réglementation applicable. Elle comporte également des données d'inventaires par pays. Chaque pays a ses propres types de déchets radioactifs, et les classe selon des catégories qui ne se correspondent pas toujours. La base de données présente de ce fait des volumes globaux, selon quelques grandes catégories.



Conclusion



Conclusion

Les résultats obtenus pour cette édition de l'Inventaire national s'inscrivent dans la continuité de ceux issus de la première édition. Ils mettent en valeur les éléments suivants :

- malgré des compositions physico-chimiques et des modes de conditionnement variés, **les déchets peuvent être décrits par un nombre maîtrisé de familles bien distinctes**
- **les déchets relèvent d'un petit nombre de secteurs économiques**, parmi lesquels on distingue bien entendu la Production électronucléaire, mais également la Recherche et la Défense comme produisant les déchets les plus actifs. Les autres domaines de l'industrie sont de natures plus diverses, mais ne produisent en règle générale que des déchets de faible ou très faible activité, ou des déchets de très courte durée de vie
- **les déchets sont présents sur un nombre relativement limité de sites** (moins d'un millier). Le recensement conduit en 2004-2005 pour la présente édition a permis de mettre en lumière de nouveaux sites qui se sont ajoutés à ceux déjà recensés. Il s'agit pour l'essentiel de petits industriels, laboratoires de recherche ou centres de soins qui sont amenés à détenir occasionnellement des déchets radioactifs. Le recensement de ces secteurs particuliers doit faire l'objet d'une vigilance permanente
- **les déchets détenus par les principaux producteurs sont bien connus**, grâce à une comptabilité rigoureuse qu'ils entretiennent depuis de nombreuses années, et qui est audité par les Autorités publiques. Par ailleurs les efforts sont poursuivis pour caractériser les déchets anciens dont certains nécessitent d'être repris et conditionnés
- **dans le domaine des « petits producteurs » (« nucléaire diffus »), les progrès dans le recensement sont plus récents**, et ne sont probablement pas encore achevés. Si globalement les utilisateurs de radioéléments à usage médical, ou les établissements manipulant des sources, sont bien maîtrisés, le domaine des industries classiques pouvant produire des déchets très faiblement radioactifs nécessite des investigations complémentaires.

Pour ce qui relève des déchets historiques, les efforts des Pouvoirs publics ces dernières années ont permis d'en identifier et d'en prendre en charge une quantité

significative ; de nouveaux déchets peuvent cependant encore apparaître et des quantités modestes s'ajouter à l'Inventaire

- **les déchets sont soit mis en stockage, soit entreposés chez leur producteur**. La quasi-totalité des déchets s'inscrit dans une catégorie définie, pour laquelle une solution de gestion définitive est disponible, ou à l'étude. Seuls quelques cas singuliers ont été identifiés comme ne relevant à ce jour d'aucune filière de gestion, ou d'aucune catégorie pré-définie, en raison de leur nature chimique. Ces stocks sont stables depuis la dernière édition
- **les études prospectives font apparaître la part importante des déchets de démantèlement dans l'avenir** ; ceux-ci sont essentiellement de très faible ou de faible activité. Pour ce qui relève des déchets produits par le fonctionnement des industries, les efforts accomplis par les différentes catégories de producteurs en termes de réduction de volume permettent aujourd'hui une production, en particulier pour les déchets de faible et de moyenne activité, à vie courte ou longue, bien moindre que par le passé. Les opérations de reprise et de conditionnement des déchets des anciennes installations nucléaires constituent également un des enjeux en matière de gestion des déchets pour les vingt ans à venir
- au-delà de 2020, les estimations de déchets d'exploitation deviennent particulièrement fragiles, car dépendantes de l'avenir des filières industrielles et en particulier de celui de la Production électronucléaire. **L'Andra a néanmoins voulu illustrer la notion de « déchets engagés », sur l'ensemble de la vie du parc d'installations**, par deux évaluations selon deux scénarios contrastés, l'un d'arrêt du nucléaire et l'autre de renouvellement du parc. Ces évaluations, à considérer comme des ordres de grandeur, complètent l'information déjà mise à disposition du lecteur dans l'édition précédente
- **dans le domaine des matières valorisables, le recensement est simplifié par le petit nombre de sites concernés**. Les stocks sont stables (pour le plutonium, pour les combustibles usés en attente de traitement) ou progressent à un rythme régulier (pour l'uranium de traitement et l'uranium appauvri). L'utilisation de ces matières dépend des conditions économiques et des choix stratégiques futurs. Le recensement qui est présenté dans cet ouvrage



n'entend cependant couvrir que les stocks les plus importants à usage civil. Les matières militaires couvertes par le secret défense, ainsi que les stocks tampons de matières que certaines installations entretiennent, ne sont pas comptabilisés dans le détail.

L'Inventaire poursuivra sa mission, qui a été confirmée par les Pouvoirs publics.

Une nouvelle édition sera publiée d'ici 2009. Dans l'intervalle, l'Andra s'attachera à poursuivre l'effort de collecte d'information, afin de présenter un panorama toujours plus complet des déchets radioactifs et des matières valorisables. La parution périodique des éditions de l'Inventaire national permettra également de suivre les progrès accomplis en matière de conditionnement de déchets, ainsi que l'avancement des opérations de reprise et conditionnement des déchets anciens, et des opérations de démantèlements.

Le présent Inventaire a grandement bénéficié des suggestions, formulées par les lecteurs de la précédente édition. L'Andra s'attachera également à prendre en compte celles que l'Inventaire national 2006 aura suscitées.



Annexes



Annexe 1 : La gestion des déchets français et étrangers à la Hague

1 Les combustibles usés étrangers traités à La Hague

Démarrée en 1966, la première usine de traitement de La Hague, UP2, a traité de l'ordre de 5 000 tonnes de combustible de la filière française UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz des réacteurs des centrales de Chinon, Saint-Laurent des Eaux, Bugey), à l'instar de l'usine UP1 de Marcoule (démarrée en 1957).

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 s'est adaptée à cette évolution (ateliers dits HAO en particulier), et sa capacité a permis de proposer cette prestation de traitement 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 20 500 tonnes de combustibles usés de type eau légère qui ont été traités à La Hague à fin 2004, dont environ 50 % de tonnes pour EDF, 25 % pour des clients allemands, 15 % pour des clients japonais, et le reste pour des clients belges, suisses et néerlandais.

Dès 1977, COGEMA a fait figurer dans les contrats signés avec les électriciens étrangers une clause de réexpédition des déchets conditionnés à l'usine de La Hague.

Seules 512 tonnes de combustibles ont été traitées au titre de contrats antérieurs, ne comportant donc pas une telle clause, soit 5 % de la quantité de combustibles usés étrangers traités à La Hague à ce jour (et 2 % de la quantité de combustibles eau légère traités à La Hague).

En 1991 le Parlement a donné aux clauses relatives aux déchets radioactifs importés force de loi, en rendant obligatoire la réexpédition de ceux-ci aux clients étrangers.

RAPPEL : LA LOI DU 30 DÉCEMBRE 1991

« Le stockage en France de déchets radioactifs importés, même si leur retraitement a été effectué sur le territoire national, est interdit au-delà des délais techniques imposés par le retraitement. » (article 3)

2

Le conditionnement des déchets ultimes contenus dans les combustibles usés

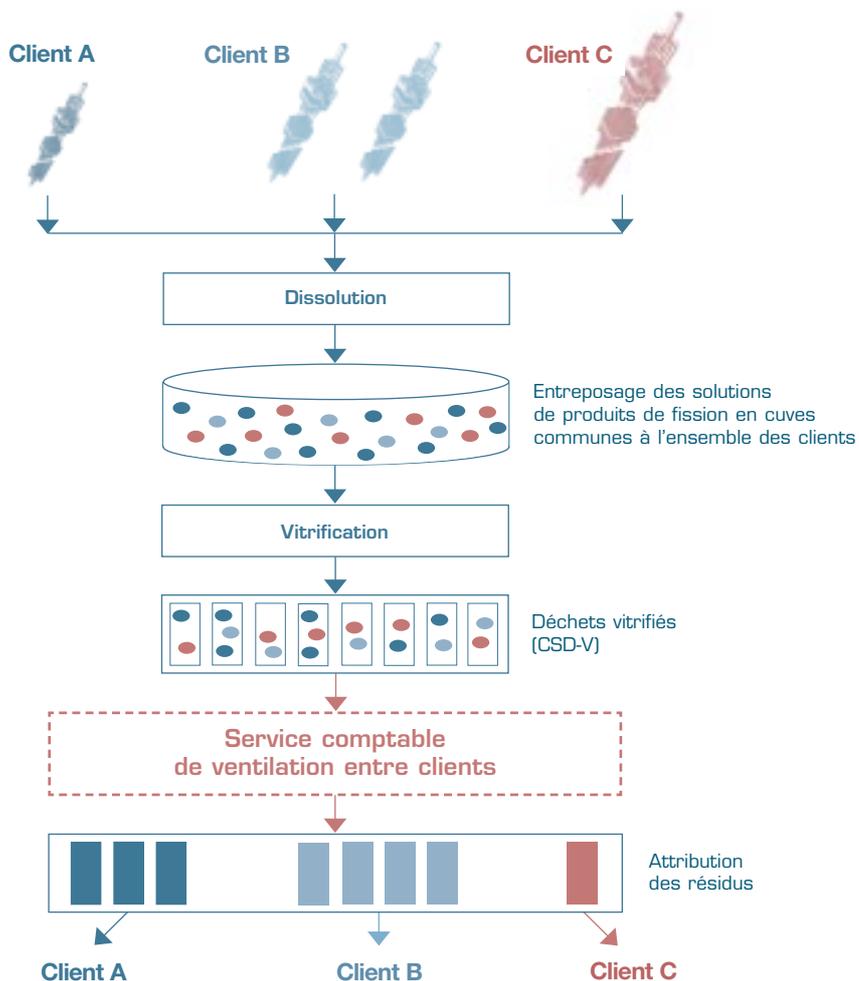
Le traitement des combustibles usés à La Hague consiste à séparer les matières recyclables (uranium et plutonium) et les déchets ultimes qui représentent l'essentiel de la radioactivité du combustible. Ces déchets ultimes sont conditionnés sous forme de colis, appelés **résidus**, permettant leur entreposage et leur transport dans les meilleures conditions de sûreté. Le conditionnement des déchets 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 à La Hague appartiennent à deux catégories : les produits de fission (PF) et les déchets de structure.

2.1 [Les produits de fission] sont les cendres de la combustion nucléaire. Dans l'usine de La Hague, ils sont séparés de l'uranium et du plutonium, puis calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le verre est alors coulé dans un Conteneur Standard de Déchets Vitrifiés (CSD-V), qui permet ainsi de conditionner sous forme compacte, durable et confinante, plus de 99 % de l'activité contenue dans les déchets ultimes, toutes catégories confondues.

2.2 [Les déchets de structure] sont les composants métalliques (tubes de gainage, grilles, embouts) assurant en réacteur 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.

Dans les usines de dernière génération, démarrées au début des années 1990, les progrès des techniques de traitement-conditionnement permettent un fonctionnement du procédé en continu et une mutualisation des moyens industriels, qui ne discriminent pas les flux de matière des différents clients de COGEMA. Le schéma présenté ci-après illustre le cas de la gestion mutualisée des produits de fission.



Pour attribuer les colis de déchets aux clients de l'usine, une méthode comptable a alors été établie, sur la base des flux entrant dans l'usine : le **système UR**.

3

Le système de gestion comptable mis en œuvre à La Hague (le système « UR »)

COGEMA a défini et mis en œuvre un système de gestion comptable des déchets qui permet, grâce à la connaissance précise des flux entrant et au suivi de la production, de relier

la quantité des déchets ultimes contenus dans les combustibles usés reçus à La Hague à la quantité de résidus à retourner à chaque client. Ce système est appelé « système d'Unités de Résidus », ou **système UR**.

De ce point de vue, le système UR s'assimile à la comptabilité analytique pratiquée dans toute entreprise. Lors de son conditionnement, chaque déchet ultime est caractérisé par des mesures détaillées (radioactivité, masse, composition physico-chimique) sur la base desquelles il est comptabilisé en UR. La méthode d'affectation utilisée permet alors de créditer les UR sur les comptes des clients concernés. Le compte d'UR d'un client est débité du nombre d'UR contenues dans les colis qui lui sont livrés, et dont il prend alors la propriété.



Le système UR, défini au moyen d'indicateurs simples et facilement mesurables, s'applique aux différentes catégories de déchets conditionnés par l'usine de La Hague. Les attributions des colis aux clients sont effectuées dans le cadre de ce système. Il est complété le cas échéant par des modalités pratiques telles que précisées plus loin dans le cadre français.

3.1 [Déchets directement issus du combustible usé]

- **Les produits de fission** sont comptabilisés en Unité de Résidu « Produits de Fission » (URPF). L'indicateur retenu pour l'URPF est la masse d'un produit de fission, le Néodyme (1 dg de Néodyme = 1 URPF). Cet élément a été choisi pour ses qualités intrinsèques de traceur : présent dans tous les combustibles usés en quantité proportionnelle à leur taux de combustion, et donc représentatif de la quantité totale de produits de fission, il est stable et se retrouve intégralement dans les CSD-V

- **Les déchets de structure** sont comptabilisés en Unités de Résidu « Structure et Déchets » (URSD). L'indicateur simple retenu est basé sur le niveau de deux activités : césium 137 (représentatif de l'activité à moyen terme) et alpha (représentatif de l'activité à long terme). Ces activités sont présentes à l'état de traces sur les structures des combustibles usés après dissolution du combustible et rinçages successifs, mais sont facilement mesurables.

Ainsi, par le choix des indicateurs définissant les URPF et les URSD, le système UR permet de relier de façon simple, fiable et équitable la quantité de produits de fission et de déchets de structure présents dans les combustibles usés d'une part et conditionnés en colis de déchets en vue de leur attribution à leurs propriétaires d'autre part.

3.2 [Déchets liés à l'usage des installations]

Comme toute industrie, l'usine de La Hague traite et conditionne ses propres déchets d'exploitation (pièces de rechange, gants de protection...) et ses effluents liquides. Le système UR permet également de comptabiliser ces déchets.

- **Les déchets dits "technologiques"** sont conditionnés, en fonction de leur nature et de leur radioactivité, en colis cimentés ou en CSD-C. Les résidus sont comptabilisés en Unité de Résidu « Déchets Technologiques » (URDT) dont l'indicateur est similaire à celui des URSD, mais comporte aussi la mesure de l'activité en Nickel 63, qui permet de

tracer la présence de produits d'activation à vie longue dans les déchets technologiques

- **Les effluents liquides** étaient initialement décontaminés, et leur activité était récupérée dans des boues. Ces boues étaient par la suite conditionnées par enrobage dans une matrice bitumineuse et comptabilisées en Unité de Résidu « Boues et Effluents » (URBE), dont l'indicateur est basé sur les activités alpha et bêta totales. Le procédé industriel mis en œuvre à La Hague dans les usines de dernière génération permet aujourd'hui un recyclage de ces effluents. La production de fûts de bitume au titre du fonctionnement actuel de l'usine se limite aujourd'hui à quelques unités par an.

A une date donnée, chaque client de l'usine de La Hague est propriétaire à la fois :

- > des colis qui lui ont déjà été physiquement livrés et contiennent une quantité d'UR définie
- > d'un crédit d'UR qui sera « matérialisé » sous forme de colis lorsqu'ils lui seront attribués.

Le retour à zéro des comptes UR des clients étrangers garantira donc l'application des contrats signés depuis 1977 par COGEMA et le respect de la loi de 1991.

On peut souligner que pour les propriétaires français (EDF, CEA et COGEMA), les déchets non-susceptibles d'être stockés en surface sont pour l'heure entreposés dans les installations COGEMA du site de La Hague, en attente d'un exutoire (loi du 30 décembre 1991). Il n'y a donc pas à l'heure actuelle d'attribution suivie de livraison des colis à son propriétaire lorsqu'il est français.

La puissance thermique étant un paramètre important à la fois au moment du transport des déchets et pour le dimensionnement des installations de stockage, l'équité d'attribution des colis de déchets vitrifiés exige aussi le maintien d'une bonne correspondance entre puissance thermique des combustibles usés traités et puissance thermique des colis de déchets vitrifiés attribués. C'est la raison pour laquelle COGEMA et EDF ont établi, en complément de la comptabilité UR, une procédure de « pré-attribution » des colis. Celle-ci prend aussi en compte la masse des structures métalliques contenues dans les CSD-C, pour que cette masse corresponde à celle des combustibles usés traités.

Cette procédure permet d'identifier les colis dont EDF sera



propriétaire *in fine*, en parallèle de l'attribution physique effectuée pour les clients étrangers auxquels les colis sont effectivement livrés.

AUDITS DU SYSTÈME UR

La mise en œuvre du système UR mobilise un ensemble de procédures de gestion qui ont reçu l'agrément des clients de l'usine de La Hague. Elle donne lieu à l'établissement d'une comptabilité annuelle pour tous les clients. Ceux-ci ont mandaté Bureau Veritas pour vérifier et certifier annuellement leurs comptes UR.

L'application de ces procédures est également audité chaque année par l'APAVE pour le compte de la Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières (DGEMP), du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Cet audit donne lieu à l'émission par l'APAVE d'un rapport annuel.

4

Les retours des déchets aux clients étrangers aujourd'hui

Le processus d'expédition des résidus aux clients étrangers a débuté en 1995 par les conteneurs standard de déchets vitrifiés (CSD-V), dans lesquels l'essentiel de l'activité des déchets ultimes contenus dans les combustibles usés est conditionnée.

Au 31 décembre 2004, 2 684 CSD-V ont été expédiés :

- 892 CSD-V ont été livrés au Japon, par voie maritime (soit 38 emballages livrés en 9 transports)
- 1 428 CSD-V ont été livrés en Allemagne (soit 51 emballages livrés en 7 transports)
- 196 CSD-V ont été livrés en Belgique (7 emballages livrés en 7 transports)
- 140 CSD-V ont été livrés aux Suisse (5 emballages livrés en 5 transports)
- 28 CSD-V ont été livrés aux Pays-Bas (1 emballage livré en 1 transport).

Les clients étrangers entreposent actuellement les CSD-V livrés :

- soit en puits, dans des installations similaires à celles de La Hague (Rokkasho au Japon, Mol en Belgique, HABOG aux Pays Bas)
- soit dans des emballages de transport et d'entreposage (Gorleben en Allemagne, Zwiilag en Suisse).

Pour les combustibles traités avant le 31 décembre 2004, les livraisons de CSD-V devraient se poursuivre jusqu'à 2010 environ.

L'EXPÉDITION DES CSD-V AU JAPON

Désentreposage de conteneurs de verre dans l'atelier NPH de la Hague



Retour des déchets vitrifiés au Japon
Le Pacific Swan



L'installation d'entreposage des déchets vitrifiés au Japon (site de Rokkasho)



5

L'évaluation de la part France des déchets entreposés à La Hague au 31 décembre 2004

A la date considérée, pour chaque catégorie de déchet, la part des clients se trouve :

- dans les colis de déchets vitrifiés qui leur ont été livrés (cf. ci-avant)
- dans des colis de déchets entreposés sur le site de La Hague, dont les UR sont comptabilisées et affectées aux clients (l'attribution physique de colis au titre de ces UR n'étant pas encore effectuée)
- dans des déchets non-conditionnés à cette date, qui ne sont pas encore formellement comptabilisés en UR. Une évaluation réaliste et exhaustive de la part de chaque client en UR peut néanmoins être faite grâce à la connaissance des déchets et de l'historique de traitement des combustibles usés (traçabilité des flux de matières et mesure de l'activité).

Pour l'Inventaire national, une évaluation de la part française de chaque famille de colis de déchets a été réalisée, pour l'ensemble des déchets entreposés à La Hague au 31 décembre 2004, qu'ils soient ou non conditionnés à cette date.

Pour les déchets non-conditionnés, qui datent principalement de la génération précédente d'usine où le condition-

nement des déchets en ligne n'était pas encore en vigueur (années 60 à 80), un tel exercice suppose donc le choix d'un scénario de référence :

- pour le conditionnement de ces déchets (par exemple : performance du compactage, choix du type de colis et quantité de déchets par colis)
- pour l'évaluation de leur activité au moment de ce conditionnement (pour une estimation des UR).

Les hypothèses qui sous-tendent cette évaluation seront affinées en tant que besoin. Une meilleure précision pourra être obtenue suite aux compléments de mesures des caractéristiques des déchets non-conditionnés qui sont en cours et en fonction de l'expérience à venir des opérations de reprise et conditionnement de ces déchets (notamment pour les déchets anciens à trier et conditionner en CSD-C, pour les boues à conditionner par bitumage...).

5.1 [Résultats de l'évaluation en nombres de colis]

Les résultats sont présentés dans le tableau A1.1.

5.2 [Méthode de détermination de la part France]

• Déchets directement issus des combustibles usés

Le nombre de CSD-V à attribuer aux propriétaires français est évalué sur la base des URPF, qui sont d'ores et déjà comptabilisées et affectées aux clients (registres UR au 31 décembre 2004).

[Tableau A1.1] Evaluation en nombres de colis

	Nombre total de colis produits ou à produire au titre des déchets entreposés le 31/12/2004 ⁽¹⁾			Estimation du nombre de colis à attribuer aux propriétaires français au titre des combustibles usés traités avant le 31 décembre 2004
	Nombre total de colis entreposés au 31 décembre 2004	Estimation du nombre total de colis à produire au titre des déchets non-conditionnés entreposés au 31 décembre 2004	TOTAL	
CSD-V	7 866	1 700	9 566	7 240
CSD-C	2 079	15 700 ⁽²⁾	17 779	8 650
Fûts de bitume	10 328	40 000	50 328	42 000
Fûts de déchets cimentés	5 170 ⁽³⁾	1 800	6 970	6 970

(1) les déchets liés aux futures opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement des installations ne sont pas comptabilisés ici ; ils sont décrits par ailleurs dans l'Inventaire national

(2) les colis CSD-C contiennent à la fois des coques et embouts et des déchets technologiques compactés

(3) y compris les fûts de coques et embouts cimentés



Les déchets de structure, comptabilisés en URSD, seront retournés à partir de 2008 aux clients étrangers sous la forme de CSD-C de coques et embouts compactés à l'ACC (Atelier de Compactage des Coques et embouts et déchets technologiques). L'évaluation du nombre de CSD-C correspondant repose sur une hypothèse de performance de compactage (1 CSD-C/tU), qui inclut également des déchets technologiques. Par ailleurs, de 1990 à 1995, des coques et embouts de structures de combustibles usés à eau légère ont été cimentés dans 1517 fûts métalliques, qui relèvent de la part France.

Les hypothèses du présent Inventaire, qui correspondent à la meilleure vision qu'en a aujourd'hui AREVA, devront être confirmées, notamment par l'expérience d'exploitation de l'ACC (mis en service en mai 2002), en perspective de l'organisation des premiers retours de déchets de structure envisagés à partir de 2008. Elles feront alors l'objet d'une validation par les Pouvoirs publics comme cela a été le cas pour le retour des verres à partir de 1995.

• Déchets liés à l'usage des installations

Pour garantir le respect des contrats en vigueur qui stipulent également le retour de déchets de ces catégories, l'apurement des comptes URBE et URDT va également débuter dans les prochaines années.

Les URDT seront retournées sous forme de déchets technologiques compactés en CSD-C dans l'atelier ACC. L'estimation du nombre de colis à attribuer aux propriétaires français nécessite de prendre des hypothèses techniques, telles la composition des CSD-C et la répartition entre les propriétaires des comptes URDT des différents types de conditionnement. Le ratio de 1 CSD-C / tU mentionné ci-avant couvre à la fois le retour des URDT et des URSD des clients étrangers. Comme dans le cas précédent, ces hypothèses, qui correspondent à la meilleure vision qu'en a aujourd'hui AREVA, devront être confirmées lors de l'organisation des premiers retours des déchets technologiques et faire l'objet d'une validation par les Pouvoirs publics.

Concernant les URBE, des hypothèses techniques ont été retenues sur les performances du mode de conditionnement et en particulier le nombre final de colis. L'évaluation de l'Inventaire, basée sur la comptabilité en URBE, conduit à prévoir l'attribution aux propriétaires français de 10 000 fûts de bitume « STE3 »⁽¹⁾ et de 32 000 fûts de bitume « STE2 »⁽²⁾ (sur les 40 000 fûts qui seraient à produire au titre des boues entreposées dans les silos STE2). Comme dans les cas précédents, ces hypothèses, qui correspondent à la meilleure vision qu'en a aujourd'hui AREVA, devront être confirmées lors de l'organisation des premiers retours et faire l'objet d'une validation par les Pouvoirs publics.

(1) STE3 (Station de Traitement des Effluents n° 3) : démarrée en 1989, cette installation permet de traiter et conditionner des effluents radioactifs par co-précipitation chimique et incorporation des boues dans une matrice bitume.

(2) STE2 (Station de Traitement des Effluents n° 2) : dans cette installation ont été traités depuis 1966 et jusqu'en 1990 des effluents radioactifs, dont résultent les 9 300 m³ de boues entreposées aujourd'hui en silos ; Ces boues correspondent donc à 25 ans d'exploitation de l'usine UP2 (génération précédente) : 25 ans de traitement de combustibles usés français de type UNGG et 15 ans de traitement de combustibles eau légère dont environ 50% de combustibles étrangers . Ceci explique la forte part allouée aux clients français, d'autant que la production de boues a progressivement diminué grâce à la mise en œuvre de la Nouvelle Gestion des Effluents (à partir de 1995). Les boues actuellement entreposées dans STE2 s'inscrivent dans un programme de reprise qui a donné lieu à des tests préindustriels en 2004 et 2005 et devraient être reprises et bitumées dans l'atelier STE3 au-delà, dans des fûts appelés ici fûts « STE2 », dès lors que les modalités de reprise et conditionnement auront été instruites et autorisées par l'Autorité de sûreté nucléaire.



Annexe 2 : Les “déchets engagés”

1

Au-delà de 2020 : quels déchets engagés par le parc actuel ?

L'Inventaire national a pris le parti d'exposer les stocks de déchets existant aux dates de fin 2004, 2010 et 2020, en fondant les prévisions sur l'hypothèse que les pratiques industrielles actuelles se prolongeaient jusqu'à ces dates. Ce choix de présentation ne préjuge pas des décisions que pourraient prendre les acteurs du secteur de l'énergie, tant les Pouvoirs publics que les industriels. Si on souhaite aller au-delà de 2020, et offrir une vue de l'ensemble des déchets à l'échéance de la fin de vie du parc actuel d'installations, la prévision devient très dépendante des choix de politique énergétique à venir.

Au delà de 2020, il pourrait devenir nécessaire d'arrêter progressivement les réacteurs les plus anciens. Les évolutions du parc électronucléaire porteront non seulement sur l'arrêt des réacteurs actuels, mais également sur les modes de production qui seront choisis pour les remplacer : appel à d'autres types d'énergie que le nucléaire, ou, s'il est décidé de poursuivre la production électronucléaire, type et nombre de réacteurs mis en œuvre. De manière plus générale, les scénarios de prospective énergétique font apparaître un éventail potentiellement large pour le niveau de production d'électricité d'origine nucléaire après 2020, la structure de cette production et les choix de gestion de la fin de cycle. Ces choix influent sur l'inventaire des déchets, y compris ceux issus des installations actuellement en service. L'avenir de la filière électronucléaire conditionne en effet la manière dont ces installations seront gérées en fin de vie.

L'Inventaire national n'a pas pour mission de définir des orientations de politique énergétique ; cette responsabilité appartient aux Pouvoirs publics. L'Inventaire a souhaité cependant éclairer cette problématique en proposant une illustration de ce que pourraient être les volumes de déchets produits par l'ensemble des installations actuelles jusqu'à leur fin de vie, selon des scénarios simples. On désigne ces déchets par le terme de « déchets engagés ».

Dans le corps du présent rapport, et en particulier au chapitre 3, on a déjà présenté en détail les volumes de déchets attendus

à l'horizon 2020 et les volumes de déchets de démantèlement postérieurs à cette date. Cette annexe présente en complément et à l'appui d'hypothèses qui vont être développées plus loin :

- les déchets susceptibles d'être produits au-delà de 2020, par année supplémentaire de fonctionnement des installations du parc actuel
- le volume total de déchets produits par l'exploitation de l'ensemble des installations (hors démantèlement, tous secteurs d'activité confondus)
- le volume des déchets engagés, c'est-à-dire la somme de tous les déchets qui pourraient être produits par les installations actuelles jusqu'à leur fin de vie (démantèlement compris).

2

Les flux de déchets en 2020 et au-delà

On commence par présenter dans ce paragraphe les flux de déchets qui seraient produits au-delà de 2020 par année de fonctionnement supplémentaire du parc d'installations nucléaires actuel. On suppose pour cela, conventionnellement, que les conditions d'exploitation et de traitement des combustibles usés sont globalement les mêmes qu'aujourd'hui, en considérant qu'à l'horizon 2020, les quelques ajustements susceptibles de faire évoluer le parc nucléaire (comme la mise en service d'un réacteur EPR prévue en 2012) n'auront qu'un impact limité sur la production des déchets radioactifs. On raisonne, pour les besoins du présent exercice, à fourniture d'électricité constante, en supposant que les réacteurs d'EDF, qu'il s'agisse des réacteurs actuels dont on prolongerait la durée de vie ou de réacteurs remplaçants, fonctionneraient au même rythme qu'aujourd'hui et avec des combustibles à performances identiques. On suppose donc que la quantité d'uranium nécessaire à la fabrication des combustibles est inchangée, de même que le niveau de traitement des combustibles usés. On traitera dans les scénarios des paragraphes suivants deux hypothèses contrastées :

- (1) arrêt de l'électronucléaire après quarante ans de durée de vie des centrales et arrêt du traitement des combustibles usés pour ne pas séparer de plutonium excédentaire
- (2) poursuite de l'électronucléaire incluant le traitement des combustibles MOX et la mise en œuvre d'évolutions technologiques sur la durée (réacteurs de quatrième génération).



Sous l'hypothèse de « continuité » précédemment introduite, les flux afférents au secteur électronucléaire s'établissent respectivement :

pour les matières valorisables, à :

- environ 7000 tonnes/an d'uranium appauvri, issu de la fabrication de 1000 tonnes de combustible UOX,
- 800 tonnes d'URT/an (uranium issu du traitement de 850 tonnes de combustible UOX),
- 8,5 tonnes/an de plutonium issu du traitement de 850 tonnes de combustible UOX.

pour les déchets, à :

- 110 m³/an de colis de déchets vitrifiés HA par an (à raison de 0,74 colis par tonne de combustible traité ; on verra plus loin que le traitement des combustibles MOX en dilution dans des combustibles UOX à performances accrues pourrait porter ce ratio à 0,90, ce qui augmenterait le flux annuel à une valeur de 134 m³/an environ),
- 190 m³/an de colis de déchets MA-VL : 160 m³ pour les déchets de structure compactés à raison de 1 colis par tonne de combustible traité et 30 m³ de déchets liés à l'exploitation des centrales et de l'usine de traitement du combustible¹,
- 8250 m³/an de colis de déchets FMA-VC : 5800 m³ générés en moyenne par l'exploitation et la maintenance (hors déconstruction) des 58 réacteurs REP, 2000 m³ induits par l'activité de traitement des combustibles à La Hague et 450 m³ issus des activités de l'amont du cycle (fabrication des combustibles),
- environ 3500 m³/an de colis de déchets TFA (1000 m³ pour les centrales EDF, 1000 m³ pour les activités de l'amont du cycle et 1500 m³ pour les activités de traitement).

Les déchets issus des secteurs autres que l'électronucléaire induisent des flux de déchets HA et MA-VL relatifs principalement aux activités de recherche du CEA civil et aux activités du CEA/DAM. Les déchets HA issus du traitement des combustibles employés dans ce cadre sont négligeables devant les mêmes déchets produits par le secteur électronucléaire, et ne représenteraient au plus que quelques mètres cubes par an. Par ailleurs, on a comptabilisé au plus 100 m³/an de déchets divers MA-VL issus de ces activités. Par ailleurs, on peut supposer que l'industrie chimique utilisant des matériaux naturellement radioactifs

continuera à engendrer des déchets radifères FA-VL, à hauteur de 100 m³/an. Enfin, on peut évaluer en première approche que 4000 m³/an de déchets FMA-VC et 1500 m³/an de déchets TFA, seront également produits, pour l'essentiel par les activités de recherche du CEA civil et du CEA/DAM.

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 2020. 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 2020 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 de l'industrie électronucléaire.

3

Déchets produits par l'exploitation du parc d'installations actuelles au-delà de 2020 et jusqu'à la fin de leur vie

A titre d'illustration, on peut présenter deux visions contrastées du bilan final des déchets qui seraient produits par le parc actuel jusqu'à sa mise à l'arrêt, en considérant deux scénarios :

- **scénario 1** : l'électronucléaire s'éteint avec le parc actuel de centrales, ce qui conduit à ne plus considérer certaines matières (uranium, plutonium) comme valorisables
- **scénario 2** : le parc actuel est renouvelé progressivement et de nouveaux réacteurs sont déployés. A 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 actuel, qu'il soit issu des combustibles usés UOX ou MOX.

¹ Ce dernier volume se décompose de la manière suivante : environ 12 m³ pour les déchets cimentés et 10 m³ pour les déchets technologiques alpha induits par le traitement, ainsi que 7 m³ pour les déchets de type « grappes de commande » issus des centrales EDF. Les flux relevant de l'activité de traitement prennent en compte les prévisions de COGEMA, dont l'intention à l'échéance 2020 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).



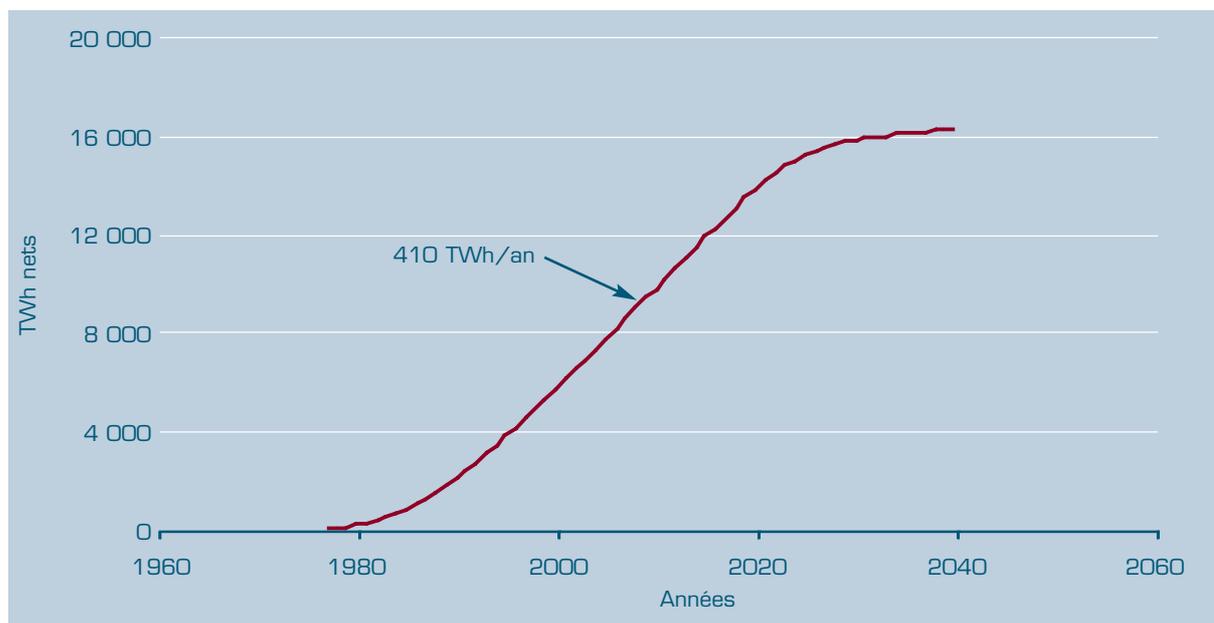
Il convient de noter que ces scénarios ne sont que deux parmi tous ceux qui sont imaginables a priori. Il serait possible par exemple, de concevoir un scénario intermédiaire où la production électronucléaire se poursuit, mais avec des réacteurs offrant des possibilités plus limitées de recyclage du plutonium que celles qui sont envisagées par les industriels dans le cadre de la technologie dite "de génération IV". Cela pourrait conduire à ne valoriser que le plutonium contenu dans les combustibles UOX, mais pas celui des MOX. Ceux-ci ne seraient donc pas traités. Cette option n'est pas celle retenue en référence par EDF.

Il faut souligner également que ces scénarios conduisent à envisager des opérations particulières : arrêt des centrales et des usines de traitement dans le scénario 1, traitement de l'ensemble des combustibles entreposés et passage progressif d'un parc de centrales vers un autre dans le scénario 2. On ne connaît pas aujourd'hui la manière exacte dont elles se dérouleraient, ni sur le plan technique, ni sur le plan administratif. Les scénarios envisagés ici sont donc à considérer avec prudence : ils n'ont qu'un caractère illustratif.

3.1 [Principales hypothèses des deux scénarios]

Les dates d'arrêt des différents réacteurs ne sont pas fixées à l'avance par EDF, dans les limites des autorisations données par l'Autorité de sûreté nucléaire, mais dépendent notamment d'un diagnostic porté sur l'état de l'installation et l'obsolescence des équipements, qui est conduit tous les dix ans.

[Graphique A.2.1] Cumul production des réacteurs REP



Sans préjuger de la durée de vie de chaque réacteur, qui sera décidée au cas par cas, un ordre de grandeur de quarante ans a été retenu par l'Inventaire national, en accord avec son comité de pilotage, pour les deux scénarios.

Cette hypothèse de durée de fonctionnement, supposée indépendante de la génération du réacteur concerné, conduit à l'arrêt du premier d'entre eux en 2017 et du dernier en 2040. Cette hypothèse est commune aux deux scénarios. A l'échelle du parc électronucléaire, on peut considérer que les centrales ont une durée de vie moyenne de dix ans après 2020, cette moyenne couvrant une certaine dispersion entre les centrales les plus anciennes et les plus récentes. Une simulation réalisée sur le parc de réacteurs REP montre que celui-ci aura fourni au réseau en 2040 un peu plus de 16 000 TWh (voir figure A.2.1), soit en moyenne annuelle 400 TWh sur une durée de vie équivalente de quarante ans. En fait, sur 63 années d'exploitation réelle, les phases de montée en puissance et de mise à l'arrêt progressives auront duré chacune environ 23 ans et l'exploitation en parallèle des 58 tranches aura duré 17 ans.

Le scénario 2 suppose le renouvellement progressif du parc actuel par un nouveau parc constitué de réacteurs de type EPR et de réacteurs dits « de génération IV » à neutrons rapides. On ne formule pas d'hypothèse sur le rythme de ce remplacement, et on ne cherche pas non plus à évaluer les déchets qu'engendreraient ces nouveaux réacteurs. Leur introduction dans le scénario conduit, après traitement, à la



consommation des matières valorisables (plutonium, uranium) non recyclées dans le parc précédent.

3.2 [Scénario 1 : Arrêt programmé de la production électronucléaire]

La politique industrielle actuelle vise à traiter les combustibles usés déchargés par les centrales à hauteur de la quantité de plutonium que le parc est capable de consommer sous forme de combustible MOX. Le rythme de traitement de 850 tonnes/an garantira à court terme l'adéquation entre la quantité de plutonium extraite des combustibles UOX et le besoin pour la fabrication des combustibles MOX, qui peuvent être chargés dans les vingt réacteurs de puissance égale à 900 MW ouverts à ce type de combustible. Sur la base d'une durée de vie prévisionnelle de 40 ans, le premier réacteur apte à recycler du plutonium sous forme de combustible MOX s'arrêterait vers 2020, et le dernier vers 2028. La date à laquelle l'arrêt du traitement devrait être décidé dépend de multiples facteurs : rythme exact d'arrêt des réacteurs moxés, modalités d'arrêt progressif de l'usine de La Hague, décision sur le devenir des quantités de plutonium non recyclées... Sans préjuger des conditions techniques et du cadre réglementaire dans lequel serait conduit cet arrêt du traitement, plusieurs scénarios sont envisageables. Un arrêt du traitement suffisamment tôt pour éviter l'incorporation dans les déchets de plutonium sans emploi a été choisi comme hypothèse de référence pour le présent scénario. Pour le calcul, on retient une date conventionnelle d'arrêt du traitement en 2017, le plutonium séparé jusqu'à cette date étant entièrement utilisé dans les centrales moxées avant que celles-ci ne soient mises à l'arrêt. Au regard des incertitudes qui pèsent sur ce scénario, il convient de ne considérer cette date que comme une convention permettant un calcul simple

pour cet exercice. La conséquence d'un arrêt du traitement est que tous les combustibles usés non traités (de type UOX, URE et MOX) à cette échéance deviennent des déchets. En fin de vie du parc, le tonnage de combustible usé non traité s'élève alors à environ 23 500 tonnes, dont environ 2 500 tonnes de MOX.

On peut estimer la quantité des autres déchets produits par les installations du secteur électronucléaire sur la base des flux indiqués au paragraphe 2. Il faut prendre en compte que les installations de traitement ne génèrent plus de déchets après leur arrêt (autres que de démantèlement, mais on ne comptabilise dans cette section que les déchets d'exploitation et de maintenance). En revanche, les usines de l'amont du cycle et les 58 réacteurs EDF produisent encore des déchets FMA-VC et TFA, ainsi que quelques déchets MA-VL jusqu'à 2030 environ.

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. Par analogie avec les centrales, on considère que ces installations seront exploitées, en moyenne, jusqu'à 2030 environ.

La quantité totale de déchets produits, tous secteurs confondus, dans le cadre de ce scénario, obtenue à partir des stocks de déchets existant en 2020 (voir tableau 3.7 chapitre 3) et, le cas échéant, des flux de déchets au-delà de 2020, est présentée ci-dessous. Les déchets des démantèlements conduits après 2020 (voir tableau 3.11 chapitre 3) ne sont pas comptabilisés dans ce tableau.

[Tableau A.2.1] Scénario 1 : arrêt programmé de la production électronucléaire

Volume de déchets produits et à produire (hors démantèlement post 2020) en m ³ équivalent conditionné	
HA (combustibles usés)	70 000 sous hypothèse d'un conditionnement en conteneur de stockage*
HA (déchets vitrifiés)	3 300
MA-VL	55 400
FA-VL	106 000
FMA-VC	1 290 000
TFA	612 000

* On rappelle que, dans l'inventaire national, les déchets sont déclarés en volume conditionné, c'est-à-dire en volume occupé une fois que leur producteur les a mis sous une forme définitive, avant prise en charge par le gestionnaire à long terme (en général, en stockage). D'éventuels compléments qui seraient ajoutés au moment du stockage ne sont pas pris en compte ; par exemple, les hypothèses de stockage en formation géologique profonde de déchets MA-VL prévoient leur regroupement dans des conteneurs en béton. Les 23 500 tonnes de combustibles usés qui resteraient sans emploi dans ce scénario représentent 9 300 m³ d'assemblages « nus » et environ 70 000 m³ une fois placés dans des conteneurs adaptés pour un stockage en formation géologique profonde, selon les hypothèses de travail de l'Andra. Il n'existe pas de conditionnement spécifique mis en place par le producteur, qui permettrait de comptabiliser les combustibles usés dans une unité homogène avec celle des autres déchets. Une comparaison directe entre le volume de combustibles usés et celui que représentent les autres déchets n'est donc pas possible.



Devenir des matières valorisables :

Dans le scénario 1, il ne reste pas de plutonium séparé puisque cette matière a été valorisée intégralement dans les combustibles MOX. En revanche, pour l'uranium de traitement et l'uranium appauvri, la perspective de réutilisation s'éteint définitivement avec l'arrêt du recyclage et ces matières deviennent, de fait, des déchets assimilables à des déchets de type FA-VL. A partir des quantités projetées à l'horizon 2020 (voir chapitre 3.4) et des valeurs présentées dans le paragraphe 2, en comptabilisant la fabrication des combustibles jusqu'en 2030 environ et l'arrêt du traitement, la quantité globale d'uranium augmentera de 67 000 tonnes. En fin de vie du parc électronucléaire actuel, elle s'élèverait donc à environ 444 000 tonnes (dont 5,5% environ d'uranium de traitement).

3.3 [Scénario 2 : Poursuite de la production électronucléaire]

Ce scénario suppose le renouvellement progressif du parc actuel par un nouveau parc de réacteurs qui consomme les matières valorisables non recyclées dans le premier parc. Dans cette perspective de développement de réacteurs « de génération IV », les matières mises en réserve (uranium appauvri et uranium de traitement) seront utilisées comme supports de combustibles. Si la totalité de ces matières n'est pas consommée dans ce cadre, une partie pourrait être considérée comme déchets. Dans ce scénario, tout le combustible du premier parc est supposé traité, y compris les combustibles MOX dont le traitement entre 2025 et 2045 permet de disposer de la quantité de plutonium nécessaire au démarrage de cette nouvelle génération de réacteurs.

Différents jeux d'hypothèses peuvent être considérés pour la vitrification des combustibles après 2020, en fonction de l'état des techniques et également de ce qui sera effectivement autorisé par l'Autorité de sûreté nucléaire. On a supposé ici un traitement des combustibles MOX en dilution dans le flux des combustibles UOX qui resteront à traiter à ce stade, à raison de 15% de MOX pour 85% d'UOX. Dans ce contexte de poursuite de l'électronucléaire, on imagine que la mise en œuvre de combustibles UOX plus performants (en particulier vis-à-vis des taux de combustion) sera effective, ce qui conduit à envisager a priori un ratio de conditionnement du mélange UOX-MOX plus élevé

qu'aujourd'hui. C'est ainsi que l'on retient, dans le cadre de ce scénario, une production de 0,90 colis de déchets vitrifiés pour chaque tonne de combustible traitée en mélange à cette échéance. Sur la base de 2500 tonnes de combustibles MOX, il faudra un peu plus de 14 000 tonnes de combustibles UOX pour assurer le traitement en dilution, ce qui conduira à environ 2600 m³ de colis de déchets vitrifiés. Le tonnage de combustibles UOX non traités en mélange (à taux de combustion plus faible que les précédents) s'élèvera alors à près de 4500 tonnes. Sur la base du ratio indiqué au paragraphe 2, un peu moins de 600 m³ de colis de déchets vitrifiés issus de combustibles UOX seront produits.

On considère, comme dans le scénario précédent, que le parc actuel de centrales est exploité encore 10 années (en moyenne) après 2020. Cette hypothèse, conventionnelle, est également reconduite pour les autres installations, hormis pour l'usine de La Hague, que le scénario « suit » jusqu'à ce qu'elle ait traité l'ensemble du combustible du parc actuel, soit jusqu'en 2045 environ.

En ce qui concerne les déchets MA-VL issus du traitement, les 21 000 tonnes de combustibles (toutes natures confondues) restant à traiter au-delà de 2020 produiront 3800 m³ de colis de déchets de structure compactés. Sur la base des flux présentés dans le paragraphe 2, s'y ajoutent environ 550 m³ de déchets technologiques MA-VL de l'usine de La Hague pendant les 25 ans de fonctionnement nécessaires au traitement de l'ensemble de ce combustible et 70 m³ issus des centrales en fin de vie. On comptabilise à part 1000 m³ de déchets MA-VL divers correspondant à dix ans de fonctionnement des installations de recherche du CEA civil et des centres CEA/DAM. Les déchets FMA-VC et TFA issus de l'exploitation des installations sont également comptabilisés sur la base des flux présentés dans le paragraphe 2.

La quantité totale de déchets produits tous secteurs confondus dans le cadre de ce scénario, obtenue à partir des stocks de déchets existants en 2020 (voir tableau 3.7 chapitre 3) et des flux de déchets au-delà de 2020, est présentée ci-après. Les déchets des démantèlements postérieurs à 2020 (voir tableau 3.11 chapitre 3) ne sont pas comptabilisés dans ce tableau.



[Tableau A.2.2] Scénario 2 : poursuite de la production électronucléaire

Volume de déchets produits et à produire (hors démantèlement post 2020) en m ³ équivalent conditionné	
HA (combustibles usés)	0
HA (déchets vitrifiés)	6 800
MA-VL	60 300
FA-VL	106 000
FMA-VC	1 346 000
TFA	654 000

Devenir des matières valorisables :

Dans le scénario 2, le plutonium séparé par les opérations de traitement des combustibles UOX usés est recyclé sous forme de combustibles MOX avant l'arrêt des centrales correspondantes ; à partir de 2025, le plutonium est extrait des combustibles MOX usés et des combustibles UOX en vue d'une utilisation ultérieure dans les réacteurs de génération suivante.

Les quantités d'uranium appauvri et d'uranium de traitement sont établies à l'appui des valeurs présentées dans le

paragraphe 2. En comptabilisant 10 années supplémentaires pour la fabrication des combustibles et 25 années de plus pour le traitement, la quantité d'uranium séparé par l'amont ou l'aval du cycle du combustible après 2020 s'établit à 90 000 tonnes, ce qui porte le stock total à 465 000 tonnes (dont 10% environ d'uranium de traitement). Ces matières sont progressivement utilisées dans la fabrication des combustibles du parc suivant ; si une partie demeurait inemployée, elle serait alors considérée comme déchets.



4

Bilan des déchets « engagés » par le parc actuel

La quantité totale de déchets « engagés » par le parc actuel d'installations s'obtient en additionnant aux volumes présentés précédemment, pour chaque scénario, les volumes induits par le démantèlement des installations actuelles, présentés au chapitre 3 (tableau 3.11). On rappelle ici le total de ces volumes par catégorie :

[Tableau A.2.3] Déchets de démantèlement postérieurs à 2020

	Volume total (en m ³ équivalent conditionné)
MA-VL	10 000
FA-VL	9 100
FMA-VC	355 000
TFA	564 500

Dans un **scénario d'arrêt du nucléaire**, le bilan des déchets "engagés" s'établit ainsi :

[Tableau A.2.4] Total des déchets produits par les installations actuelles jusqu'à leur fin de vie (démantèlements compris) dans un scénario d'arrêt du nucléaire (scénario 1)

	Déchets produits en m ³ équivalent conditionné
HA (combustibles usés)	70 000 sous hypothèse d'un conditionnement en conteneur de stockage
HA (déchets vitrifiés)	3 300
MA-VL	65 400
FA-VL	115 000
FMA-VC	1 645 000
TFA	1 176 000

S'ajoute à cela une quantité d'**uranium appauvri et de traitement** non réutilisé, de **444 000 tonnes** (apparentées,

en termes de radioactivité contenue, à des déchets de type FA-VL).



Dans un **scénario de poursuite du nucléaire**, le bilan des déchets "engagés" s'établit ainsi :

[Tableau A.2.5] Total des déchets produits par les installations actuelles jusqu'à leur fin de vie (démantèlements compris) dans un scénario de poursuite du nucléaire (scénario 2)

Déchets produits en m ³ équivalent conditionné	
HA (combustibles usés)	0
HA (déchets vitrifiés)	6 800
MA-VL	70 300
FA-VL	115 000
FMA-VC	1 700 000
TFA	1 218 000

Il est important de rappeler que ces chiffres sont des **ordres de grandeur**, évalués selon des scénarios qui sont sous-tendus par de nombreuses hypothèses (sur la manière de gérer la fin de vie du parc d'installations actuelles, sur les modes de conditionnement adoptés pour les déchets, sur la catégorie à laquelle appartiendront in fine certains déchets à reprendre et conditionner, etc.). Pour cette raison, dans les études techniques destinées à définir des filières de gestion

pour ces déchets, il est souvent utile de prendre en compte des marges d'incertitudes supplémentaires par rapport aux évaluations de référence. A titre d'illustration, le volume des déchets MA-VL retenu par l'Andra dans les études sur les possibilités de stockage en formation géologique de tels déchets est de 81 000 m³, pour couvrir les incertitudes.



Annexe 3 :
Glossaire

TERME	DEFINITION
ACTINIDES	Radionucléides naturels ou artificiels, de numéro atomique compris entre 89 (actinium) et 103 (lawrencium). Dans les combustibles usés , ils sont formés en réacteur à partir d'uranium, par capture de neutrons
ACTINIDES MINEURS	Actinides produits dans le combustible irradié en quantité moindre que les actinides principaux (uranium, plutonium). Essentiellement neptunium, américium, curium
ACTIVITÉ (NUCLÉAIRE)	Nombre de transitions nucléaires spontanées d'une quantité de nucléides radioactifs par unité de temps <i>Note : l'unité d'activité est le becquerel, activité d'une quantité de nucléides radioactifs pour laquelle le nombre de transitions nucléaires par seconde est égal à un. On utilise aussi le curie et ses sous-multiples (1 curie = 3,7 x 10¹⁰ Bq)</i>
AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	Ensemble des opérations qui accompagnent la production d'électricité nucléaire, de l'extraction du minerai d'uranium à la fabrication de combustible
ASSAINISSEMENT RADIOACTIF	Ensemble d'opérations visant à réduire la radioactivité d'une installation ou d'un site, notamment par décontamination ou évacuation de matériels
ASSEMBLAGE COMBUSTIBLE	Ensemble formé d' éléments combustibles et chargé d'un seul tenant dans un réacteur nucléaire
AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE	Ensemble des opérations qui accompagnent la production d'électricité nucléaire, à partir du traitement du combustible usé jusqu'au recyclage du plutonium en combustibles MOX
BECQUEREL (Bq)	Unité légale utilisée pour la mesure de la radioactivité. 1 Bq correspond à une désintégration subie par un radionucléide par seconde. Cette unité remplace le curie. On emploie plus couramment ses multiples : le mégabecquerel (MBq, million de Becquerels), le gigabecquerel (GBq, milliard), le térabecquerel (TBq, mille milliards) ou le pétabecquerel (PBq, million de milliards)
BOUES BITUMÉES	Déchets résultant de l' enrobage de boues radioactives (issues du traitement de liquides radioactifs) dans du bitume (goudron, asphalte)



TERME	DEFINITION
CENTRE DE STOCKAGE	Dépôt organisé de colis de déchets radioactifs, conçu pour pouvoir être définitif
COLIS DE DÉCHETS RADIOACTIFS	Conteneur non récupérable rempli de déchets radioactifs conditionnés
COMBUSTIBLE (NUCLÉAIRE)	Matière contenant des nucléides dont la consommation par fission dans un réacteur nucléaire permet d'y entretenir une réaction en chaîne
COMBUSTIBLE MOX	Combustible nucléaire à base d'un mélange d'oxyde d'uranium et d'oxyde de plutonium
COMBUSTIBLE UOX	Combustible nucléaire à base d'oxyde d'uranium. On distingue : <ul style="list-style-type: none"> - 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 irradié et qui est enlevé du réacteur après utilisation parce qu'il ne peut plus entretenir la production d'énergie sans avoir subi un traitement approprié
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 <i>Note : ces opérations peuvent comprendre notamment le compactage, l'enrobage, la vitrification, la mise en conteneur</i>
CONFINEMENT (DE MATIÈRES RADIOACTIVES)	Maintien de matières radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé grâce à un ensemble de dispositions visant à empêcher leur dispersion en quantités inacceptables au delà de cet espace. Par extension, ensemble des dispositions prises pour assurer ce maintien
CONTAMINATION (RADIOACTIVE)	Présence de matières radioactives dans un matériau, à la surface d'objets ou à tout endroit où cette présence est indésirable ou peut avoir des conséquences nocives. Pour l'homme, on opère une distinction entre contamination externe ou interne. Dans le cas d'une contamination interne, les particules radioactives sont présentes dans le corps, par exemple par inhalation ou par ingestion de solides, de liquides ou de gaz contaminés par des matières radioactives. Dans le cas d'une contamination externe, les substances radioactives sont en contact avec la peau ou les parties externes de l'organisme



Annexes

TERME	DEFINITION
CONTENEUR	Récipient fermé manutentionnable destiné au transport et/ou à l'entreposage et/ou au stockage de substances radioactives
COQUES ET EMBOUTS	Désignent respectivement les tronçons de gaine et les pièces d'extrémité obtenues après cisailage des crayons de l' assemblage combustible au moment du traitement
CRAYON	Tube de faible diamètre, fermé à ses deux extrémités, constituant du cœur d'un réacteur nucléaire quand il contient une matière fissile, fertile ou absorbante <i>Note : lorsqu'il contient de la matière fissile, le crayon est un élément combustible</i>
DÉCHETS À VIE COURTE	Déchets contenant majoritairement des radionucléides dont la période radioactive (demi-vie) est inférieure à 30 ans
DÉCHETS À VIE LONGUE	Déchets contenant en quantité significative des radionucléides dont la période radioactive (demi-vie) est supérieure à 30 ans
DÉCHETS C (VITRIFIÉS)	Déchets issus du processus de vitrification de solutions de produits de fission lors du retraitement des combustibles irradiés. Ils ont une activité et une vie longue
DÉCHETS GRAPHITES	Déchets constitués essentiellement de carbone issus des centrales nucléaires de l'ancienne filière uranium naturel graphite gaz en cours de démantèlement
DÉCHETS DE STRUCTURE	Déchets obtenus après cisailage de l' assemblage combustible au moment du traitement , correspondant aux pièces métalliques de l'assemblage (principalement, coques et embouts)
DÉCHETS RADIOACTIFS	Résidu provenant de l'utilisation de matières radioactives, dont aucun usage n'est prévu dans l'état actuel des connaissances et dont le niveau d' activité ne permet pas, sans contrôle, l'évacuation dans l'environnement
DÉCHETS TRITIÉS	Déchets contaminés par du tritium
DÉMANTELLEMENT	Ensemble des opérations techniques qui conduisent une installation nucléaire à un niveau de déclassement choisi
ENTREPOSAGE (DE DÉCHETS RADIOACTIFS)	Dépôt temporaire de déchets radioactifs



TERME	DEFINITION
FILIÈRE « RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE » (REP)	Type de réacteur dont le combustible est à base d'uranium enrichi, et utilisant de l'eau ordinaire maintenue liquide sous pression comme modérateur et comme fluide caloporteur
FILIÈRE « RÉACTEURS À NEUTRONS RAPIDES » (RNR)	Type de réacteur dans lequel on limite la présence de matières pouvant ralentir les neutrons afin que les fissions soient produites principalement par des neutrons rapides
FILIÈRE « URANIUM NATUREL GRAPHITE GAZ » (UNGG)	Type de réacteur utilisant un combustible à base d'uranium naturel métallique, du graphite comme modérateur et du gaz carbonique sous pression comme fluide caloporteur. Ces réacteurs ont été utilisés en France dans les années 1960-1970
FISSILE	Se dit d'un nucléide dont les noyaux sont susceptibles de subir une fission sous l'effet de neutrons de toutes énergies, aussi faibles soient-elles
FISSION	Division d'un noyau en au moins deux autres noyaux, libérant de l'énergie
INSTALLATION NUCLÉAIRE DE BASE (INB)	Définie par le décret n° 63-1228 du 14 décembre 1963, désigne toute installation industrielle civile (réacteur, accélérateur de particules, usine, stockage, entreposage...) autorisée à détenir des substances radioactives en quantité ou radioactivité totale supérieure à un seuil fixé par les Pouvoirs publics
ISOTOPES	Corps stables ou radioactifs de même nature chimique se distinguant par leur seule masse atomique
MARQUÉ (SITE)	Site présentant des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait nécessairement d'action particulière envisagée
MATRICE (DE CONDITIONNEMENT)	Matériau assurant l' enrobage ou le blocage de déchets radioactifs
NUCLÉIDE	Noyau atomique caractérisé par le nombre de protons et le nombre de neutrons qu'il renferme et son état d'énergie nucléaire, sous réserve que la vie moyenne, dans cet état, soit assez longue pour pouvoir être observée
PÉRIODE D'ACTIVITÉ (OU DEMI-VIE)	Dans le cas d'un processus unique de décroissance radioactive, il s'agit du temps moyen nécessaire pour que l'activité d'une source radioactive diminue jusqu'à la moitié de sa valeur initiale



Annexes

TERME	DEFINITION
POLLUÉ (SITE)	Tout site, abandonné ou en exploitation, sur lequel des substances radioactives, naturelles ou artificielles, ont été ou sont mises en œuvre, ou encore sont entreposées dans des conditions telles que le site présente des risques pour la santé et l'environnement
PLUTONIUM	Élément métallique lourd artificiel et radioactif. Son isotope le plus important est le plutonium 239 fissile, produit par l'irradiation d'un noyau d'uranium 238 dans un réacteur nucléaire
PRODUCTEUR (DE DÉCHETS)	Entité ayant la maîtrise technique de la production et du conditionnement primaire des déchets radioactifs
PRODUIT DE FISSION	Isotope radioactif ou stable issus soit directement de la fission de noyaux lourds (comme l'uranium ou le plutonium) soit de la désintégration des fragments de fission : césium, strontium, iode, xénon etc
RADIOACTIVITÉ	Phénomène physique caractérisé par la désintégration de noyaux atomiques instables et accompagné de l'émission d'un rayon ionisant. On distingue : - la radioactivité alpha (α) : caractérisée par l'émission d'un noyau d'hélium ou particule alpha (2 protons et 2 neutrons) - la radioactivité bêta (β) : caractérisée par l'émission d'un électron (β^-) ou d'un positon (β^+) - la radioactivité gamma (γ) : caractérisée par l'émission d'une onde électromagnétique (photon) de haute énergie (rayon γ)
RADIOÉLÉMENT	Élément dont tous les isotopes sont radioactifs
RADIONUCLÉIDE	Isotope radioactif d'un élément
RADIOPROTECTION	Ensemble des méthodes et des moyens utilisés pour la protection des personnes contre les rayonnements ionisants
SCÉNARIO	Dans le cadre de l'Inventaire national, ensemble d'hypothèses concernant une activité produisant des déchets radioactifs, permettant d'asseoir des prévisions de stocks
TAUX DE COMBUSTION	Energie totale libérée par unité de masse d'un combustible nucléaire. Il est couramment exprimé en mégawatts-jour par tonne



TERME	DEFINITION
TERRES RARES	Dénomination commune des lanthanides et de leurs oxydes Il s'agit d'une quinzaine d'éléments chimiques présentant des structures et des propriétés similaires. On les trouve en proportions variables dans certains minerais (monazite). On utilise les terres rares dans l'électronique, le magnétisme (têtes de lecture audio), l'automobile (pots catalytiques), les écrans de téléviseurs, etc
TONNE DE MÉTAL LOURD (tML)	Unité relative à la masse de métal combustible (uranium ou uranium + plutonium + américium pour les MOX) introduite à la fabrication du combustible. La notion de tML sous-tend implicitement « initial »
TOXIQUE CHIMIQUE	Élément susceptible d'induire des effets néfastes sur la santé humaine en cas d'ingestion et/ou d'inhalation
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 DU COMBUSTIBLE USÉ	Procédé mis en œuvre sur du combustible usé et consistant à séparer l'uranium et le plutonium (qui représentent environ 97 % de la masse) des produits de fission
TRITIUM	Isotope radioactif de l'hydrogène, dont le noyau comporte deux neutrons et un proton
URANIUM DE TRAITEMENT (URT)	Uranium provenant des combustibles usés et séparé par les opérations de traitement
URANIUM DE TRAITEMENT ENRICHI (URE)	Uranium de traitement ayant subi un enrichissement pour être introduit dans un combustible nucléaire
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



La rédaction a été assurée par les équipes de l'Andra, en se fondant sur le texte de la première édition, établi par Anita Castiel.

Crédits photos

Photothèque Andra :

Pascal Bourguignon, Philippe Demail,
Les Films Roger Leenhardt, D. Ladsous,
B. Trutmann

Photothèque CEA :

DAM, A. Gonin, Foulon, Le Corre,
A. Venturier, D. Vincon

Photothèque CNRS :

Jean-Marc Piel

Photothèque COGEMA :

Georges Carillo, Eddy Cervo,
Eurodoc Centrimage, Yann Geoffray,
Jean-Claude Grelier, Harry Gruyaert,
Gérard Hallary, Sidney Jézéquel,
Philippe Lesage, Jean-Marie Taillat

Photothèque DCN :

Biaugeaud

Médiathèque EDF :

Pierre Bérenger, Henri Cazin, Antoine Gonin,
Guy Jaumotte, Sophie Loubaton,
Marc Morceau, Claude Pauquet,
Jean-Claude Raoul, Frédéric Sautereau

et photothèques ASN, CIS-BIO, RHODIA, SOCODEI.

